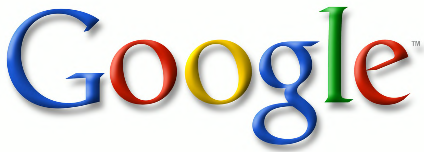


ANNALES

DES MINES.

COMMISSION DES ANNALES DES MINES.

Les ANNALES DES MINES sont publiées sous les auspices de l'administration générale des Ponts et Chaussées et des Mines, et sous la direction d'une commission spéciale formée par le Ministre des Travaux Publics. Cette commission est composée, ainsi qu'il suit, des membres du conseil général des mines, du directeur et des professeurs de l'École des mines, et d'un ingénieur, adjoint au membre remplissant les fonctions de secrétaire :

L'administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des ANNALES DES MINES pour être envoyés, soit à titre de don aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit à titre d'échange aux rédacteurs des ouvrages périodiques français et étrangers, relatifs aux sciences et aux arts. — Les lettres et documents concernant les ANNALES DES MINES doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux Publics, à M. l'ingénieur en chef, secrétaire de la commission des* ANNALES DES MINES, rue du Bac, n° 41, à Paris.

Avis.

Les auteurs reçoivent *gratis* 15 exemplaires de leurs articles, formant au moins une feuille d'impression. Ils peuvent faire faire des tirages à part à raison de 9 fr. par feuille jusqu'à 50, 10 fr. de 50 à 100, et 5 fr. pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde. Le tirage à part des planches est payé sur mémoire, au prix de revient.

La publication des ANNALES DES MINES a lieu par cahiers ou livraisons qui paraissent tous les deux mois. — Les six livraisons annuelles forment trois volumes, dont un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. — Les deux volumes consacrés aux matières scientifiques et techniques contiennent de 70 à 80 feuilles d'impression, et de 18 à 24 planches gravées. — Le prix de la souscription est de 20 fr. par an pour Paris, de 24 fr. pour les départements, et de 28 fr. pour l'étranger.

PARIS. — IMPRIMÉ PAR E. THUNOT ET Cᵉ, RUE RACINE, 26.

ANNALES
DES MINES

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT;

RÉDIGÉES

PAR LES INGÉNIEURS DES MINES,

ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

SIXIÈME SÉRIE.

MÉMOIRES. — TOME I.





PARIS.

DUNOD, ÉDITEUR,

SUCCESSEUR DE Vve DALMONT,

Précédemment Carilian-Gœury et Vor Dalmont,

LIBRAIRE DES CORPS IMPÉRIAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

Quai des Augustins, 49.

1862

ANNALES
DES MINES.

RAPPORT (*)

A SON EXC. LE MINISTRE DE L'AGRICULTURE, DU COMMERCE
ET DES TRAVAUX PUBLICS

SUR L'EMPLOI DE LA HOUILLE DANS LES MACHINES LOCOMOTIVES
ET SUR LES MACHINES A FOYER FUMIVORE DU SYSTÈME
DE M. TENBRINCK.

Par M. COUCHE, ingénieur en chef, chargé du contrôle des chemins de fe
de l'Est et des Ardennes, professeur à l'École des mines.

---

§ I. EXPOSÉ.

De tous les inconvénients qui rendent le voisinage des grands établissements industriels incommode ou nuisible, un des plus graves et le plus ordinaire est l'abondance de la fumée dégagée par les foyers alimentés à la houille. L'Administration se préoccupe depuis longtemps des mesures propres à sauvegarder les intérêts lésés; mais, en l'absence de moyens à la fois simples et efficaces, elle ne pouvait pas se départir d'une tolérance sans laquelle un intérêt tout à fait supérieur, celui de l'industrie elle-même, son développement et ses progrès, auraient été gravement compromis. On s'est borné jusqu'ici, en cas d'évidente nécessité, à imposer soit l'emploi exclusif du coke, soit la construction de cheminées d'une hauteur bien supérieure à celle qu'exigeait un bon tirage, et cela dans le but de verser

(*) Publié par ordre du Ministre.

la fumée dans l'atmosphère à une hauteur assez grande pour la rendre à peu près inoffensive.

Locomotives. — En ce qui concerne les locomotives, les cahiers des charges portent qu'elles devront « consumer leur fumée » (ou, plus exactement, *brûler sans fumée*). Cette clause, jointe à la hauteur nécessairement insignifiante des cheminées, conduisait, en l'absence de tout autre moyen, à l'emploi exclusif du coke; condition acceptée d'ailleurs sans difficulté pendant longtemps par les compagnies de chemins de fer, parce que le coke était regardé comme le seul combustible approprié à la production abondante et régulière de la vapeur dans les chaudières à petit foyer des locomotives, et comme le plus favorable à l'entretien économique de ces appareils.

On savait cependant de longue date que l'emploi de la houille en nature était possible, abstraction faite de la fumée; que, sur plusieurs chemins de fer, on ne brûlait pas un morceau de coke; que des houilles et même des lignites de qualité très-médiocre, étaient couramment mis en œuvre; mais on ne voyait généralement dans les charbons crus qu'un pis-aller, acceptable seulement à défaut de houilles propres à la fabrication du coke.

Tant que les compagnies de chemins de fer ont pu s'approvisionner de coke facilement et à des conditions raisonnables, on n'a guère songé, en général, à se demander si l'exclusion de la houille était motivée, et à constater les résultats de son emploi sur les chemins de fer qui n'avaient pas le choix. Il a fallu l'élévation rapide du prix du coke, l'impossibilité même où les chemins de fer se trouvèrent presque, il y a quelques années, de s'en procurer, à quelque prix que ce fût, pour faire ressortir toute l'importance de la question (*).

(*) On me permettra de rappeler ici ce que je disais sur ce sujet il y a onze ans : « Il est probable qu'un choix et peut-être un mé-« lange convenable des houilles, combinés avant le lavage, avec une

En proscrivant la fumée sans restriction, le cahier des charges avait assurément en vue de soustraire aux inconvénients de la fumée non-seulement les voyageurs dans les trains en marche, mais aussi le voisinage des gares et des dépôts dans lesquels stationnent des machines en feu. Il est certain, néanmoins, que la clause a été insérée surtout dans l'intérêt des voyageurs. Il était donc tout naturel, le jour où s'est révélée la nécessité de l'emploi partiel de la houille, ne fût-ce que comme modérateur du prix du coke, d'appliquer les charbons crus à la traction des marchandises. Il y avait là sans doute une dérogation à la clause absolue du cahier des charges; s'il importe assez peu que les machines attelées aux trains de marchandises dégagent de la fumée en rase campagne, il en est tout autrement dans les souterrains d'une grande longueur, près des lieux habités, et dans les stations, surtout dans celles où ces trains séjournent, soit pour se garer soit, à plus forte raison, pour des manœuvres. Il a toujours été entendu, au surplus, qu'il s'agissait, même pour la traction des marchandises, d'une tolérance temporaire, d'une période d'expériences ne portant aucune atteinte au principe et destinée, bien au contraire, à en assurer, dans un avenir plus ou moins prochain, l'application complète et définitive.

Avantages de l'emploi de la houille. — On commence à recueillir dès aujourd'hui le fruit de cette conduite prudente. Averties par la disette de coke dont elles avaient été menacées, la plupart des compagnies profitèrent de la tolérance de l'Administration, à l'endroit de la fumée,

« disposition mieux étudiée de la grille, avec un mode approprié de « conduite du feu, feront disparaître ou atténueront les inconvé« nients qu'on a constatés, mais contre lesquels on n'a pas lutté sé« rieusement. On conçoit que la carbonisation préalable puisse être « souvent indispensable dans les opérations métallurgiques, mais il « est difficile d'admettre qu'il en soit de même, quand il ne s'agit, en « définitive, que de produire de la vapeur. » (Note sur l'emploi du coke dans les machines locomotives, et sur les expériences faites en

pour essayer l'emploi de la houille sur une grande échelle Partout l'expérience a constaté que la houille, convenablement choisie, présente sur le coke des avantages nombreux. Moins chère, plus inflammable, et plus dense que le coke, elle n'assure pas seulement une production plus économique et (point tout à fait capital) plus abondante de la vapeur, elle est aussi plus favorable à la conservation des foyers et des tubes; la conduite du feu est plus facile, la pression de la vapeur se maintient mieux avec un très-faible serrage de l'échappement, et la puissance de la machine y gagne.

C'est surtout sur le chemin de fer du Nord que ces avantages ont été mis en évidence par une application en grand qui date de 1854, et qui, dès le milieu de l'année 1857, s'étendait à la totalité des machines à marchandises (*). Il est vrai que le chemin de fer du Nord a précisément sous la main des houilles qui conviennent très-bien aux locomotives : très-peu sulfureuses, contenant peu de cendres, ni trop grasses ni trop maigres, par suite ne se collant pas trop et ne décrépitant pas, et très-peu fumeuses. Mais, avec la variété de charbons que présente ordinairement un même bassin, il n'y a guère de chemin de fer qui ne soit assuré d'un approvisionnement facile en houille remplissant, à un degré suffisant, les conditions dont il s'agit; et alors, la houille est le combustible par excellence pour les locomotives, même pour les locomotives à grande vitesse, dans lesquelles on peut accumuler, dans un foyer de dimensions relativement restreintes, la masse de combustible qu'exige la grande activité de la vaporisation, et cela, sans exagérer l'épaisseur sur la grille.

Reste un seul obstacle, la fumée, inconvénient d'une

Autriche dans le but de substituer au bois les houilles et les lignites de Bohême. *Annales des mines*, 4e série, 1851, t. XIX, page 425.)

(*) Note sur l'emploi de la houille dans les locomotives du chemin de fer du Nord. (*Annales des mines*, 1858, tome XIV, page 477).

gravité fort inégale d'ailleurs. Peu sensible avec les houilles à faible proportion de matières volatiles et à distillation lente, comme celles dont le chemin du Nord fait usage; très-sérieux, au contraire, avec les houilles très-chargées de matières volatiles et à distillation rapide, comme le sont les charbons de l'Aveyron, de l'Allier, de Saarbrücke et tant d'autres.

Quoique très-fumeuses, beaucoup de houilles n'en sont pas moins, sous tous les autres rapports, très-convenables pour les locomotives. La suppression de la fumée a donc une portée économique bien autre qu'on ne le supposait avant que les avantages de la houille ne fussent appréciés à leur véritable valeur. Il ne s'agit plus seulement aujourd'hui de rendre l'emploi de la houille tolérable dans quelques cas particuliers, à défaut de coke; il s'agit de faire disparaître le seul obstacle qui s'oppose encore à l'application générale et définitive du combustible qui est à la fois le plus économique et le plus maniable.

Améliorations déjà obtenues simplement par une meilleure conduite du feu. — Remarquons, avant tout, que le seul fait de l'expérience acquise par l'emploi prolongé de la houille a déjà beaucoup atténué le mal. Dans l'origine, les mécaniciens traitaient la houille à peu près comme le coke; l'épaisseur sur la grille était beaucoup trop grande, les chargements trop rares, et par suite faits à trop forte dose, et de plus sans méthode, sur tous les points de la grille indifféremment. Aujourd'hui, familiarisés avec le charbon cru, intéressés par les primes à le ménager, les mécaniciens les plus ordinaires en tirent un très-bon parti, et ils arrivent facilement à rendre très-supportables, en marche, les houilles médiocrement fumeuses. Les mécaniciens soigneux et habiles y réussissent même avec des charbons décidément fumeux (*). Quant aux stationnements, la simple addition

(*) On trouve dans les *Bulletins de la Société industrielle de Mulhouse* pour 1860 (rapport de MM. Dubied et Burnat sur le con-

d'un *souffleur* (ou jet de vapeur dans la cheminée) suppléant l'échappement, suffit pour placer les machines en repos dans des conditions à peu près équivalentes à celles de la marche pour le dégagement de la fumée (*). Il faut seulement tenir la main à ce que les mécaniciens s'en servent; livrés à eux-mêmes, ils sont fort peu disposés à en faire usage, parce qu'il augmente la consommation de charbon.

L'injecteur Giffard, permettant d'alimenter en repos, et

---

cours ouvert pour la meilleure chaudière à vapeur), un exemple remarquable de ce qu'on peut obtenir dans les générateurs fixes, par un bon choix de chauffeurs et une consigne sévère: « Si, » disent les auteurs, page 78 de ce rapport, « les nombreux inventeurs « d'appareils fumivores..... allaient visiter l'usine de Wesserling, « plus d'un y laisserait les illusions à l'examen de générateurs qui « ont des grilles ordinaires, et qui ne fument pas.... C'est après « l'avoir vu de nos yeux que nous affirmons que les cheminées, à « Wesserling, ne fument pas, ou du moins ne laissent voir rarement à leur sommet, qu'une fumée peu intense. MM. Gros, Odier, « Romand et compagnie n'ont pas attendu, comme les industriels « de nos grandes villes, l'invitation de l'autorité supérieure pour « construire des foyers fumivores. S'ils ne produisent pas de fumée, « c'est que cela entre dans leurs convenances économiques..... »

« ..... Les petites charges, » dit l'habile ingénieur des établissements de Wesserling, M. Marozeau (note annexée au rapport cité, p. 88), « celles de 10 à 12 kil. nous paraissent préférables. Elles se « font sur le devant de la grille, alternativement à droite et à gau- « che, de manière à ne couvrir que le quart au plus de la surface « totale de la grille..... Nous nous bornons, pour diminuer l'inten- « sité de la fumée, à procéder pour les charges comme nous ve- « nons de l'indiquer.... »

Les charbons employés à Wesserling sont ceux de Saarbrücke et de Ronchamp; ils sont donc très-fumeux.

On ne saurait assurément conclure des générateurs fixes, avec leurs vastes grilles et leur marche uniforme, aux locomotives avec leurs foyers restreints, et les exigences si variables de leur production. Mais le résultat obtenu à Wesserling n'en est pas moins digne d'être signalé.

(*) Le souffleur a, comme l'échappement, un mode d'action double. Il agit à la fois *chimiquement*, par la combustion plus complète due à l'activité plus grande du tirage, et, *mécaniquement*, par la précipitation de la fumée qui se mêle, dans la cheminée, à la vapeur condensée.

de prévenir ainsi, dans une certaine mesure, l'accroissement de pression et la perte de vapeur qu'entraîne ce surcroît de consommation de charbon, est très-propre à vaincre cette résistance des mécaniciens. Il serait d'ailleurs de toute justice de faire la part du jeu du souffleur par une augmentation convenable des allocations en stationnement.

Il importe, d'un autre côté, que les mécaniciens chargent leur foyer avec discernement, et qu'ils évitent autant que possible de le faire soit peu avant soit pendant les stationnements d'une courte durée.

Mais si, par ces soins assez simples, on atteint à peu près le but avec certaines houilles, il en est d'autres qui résistent à l'emploi de semblables palliatifs. Les chargements très-fréquents ne sont pas d'ailleurs sans inconvénient avec les foyers ordinaires, à cause du refroidissement dû à l'ouverture presque continuelle de la porte, et ce n'est pas sans raison que les mécaniciens repoussent cette pratique. Aussi, à l'exception de quelques chemins, celui du Nord, par exemple, placé dans des conditions éminemment favorables en ce qui concerne les charbons à l'état naturel (*), faut-il reconnaître que l'application de la houille, restreinte même comme elle l'est généralement sur les lignes françaises, à la traction des marchandises, présente parfois des inconvénients qu'on a pu et dû tolérer pendant un certain temps, mais qui ne sauraient se perpétuer. L'intérêt des compagnies exige sans doute que l'usage de la houille se maintienne et s'étende même encore. Mais il exige aussi par cela même que la fumée disparaisse; car, en présence des termes formels du cahier des charges l'Administration ne pourrait fermer plus longtemps les yeux, et d'ailleurs les chemins de fer n'échapperaient pas à de nouveaux procès (quelques-uns sont encore pendants) ou tout au moins à des plaintes fondées en droit.

(*) On verra plus loin (page 33) le motif de cette restriction.

Si l'emploi de la houille dans les machines à marchandises soulève des plaintes fondées, que dire des lignes sur lesquelles des houilles excessivement fumeuses sont également affectées, sans aucun moyen préservatif, au service des voyageurs? Ici il y a parfois en quelque sorte force majeure, car les houilles les plus fumeuses sont souvent en même temps très-peu propres à la fabrication du coke; le rendement et la qualité sont également médiocres; mais si l'emploi de la houille est alors presque de force majeure, on ne peut admettre qu'il en soit de même de la production d'une fumée souvent insupportable, surtout en été, lorsque les voyageurs doivent tenir les glaces ouvertes sous peine d'étouffer.

On peut sans doute, citer des cas dans lesquels tout le monde, administration et voyageurs, accepte avec une égale résignation une situation presque aussi mauvaise. Ce n'est pas sans surprise qu'on voit, par exemple, les machines qui font le service de Kehl à Bade, dégager, même pendant la belle saison, des torrents de fumée. Elles brûlent en effet de la houille de la Ruhr, non moins fumeuse que celle de Saarbrücke, et on ne prend, jusqu'à présent, presque aucune précaution pour atténuer un inconvénient auquel la patience allemande se résigne tant bien que mal, mais difficilement accepté par les nombreux étrangers qui circulent sur cette ligne.

Appareils déjà essayés. — Depuis que la question de la fumivorité des locomotives est à l'étude, en France et en Angleterre, on a proposé et essayé une foule de dispositions plus ou moins efficaces. Je n'ai pas à les décrire, d'autant moins qu'aucune d'elles, jusqu'ici, n'avait résolu la difficulté pour les houilles vraiment fumeuses. L'esprit pratique des Anglais n'a pas été, dans cette circonstance, aussi bien inspiré qu'il l'est d'ordinaire en présence des problèmes de pure application. La plupart des artifices imaginés par les ingénieurs d'outre-Manche, sont ou d'une efficacité mé-

diocre, ou d'une complication qui suffirait pour les faire rejeter (*).

Appareil Duméry. — Parmi les conceptions qui ont pris naissance en France, une seule, jusqu'à ces derniers temps, avait fixé l'attention, et paru résoudre le problème : c'est celle de M. Duméry, réalisée d'abord sur des foyers fixes et transportée ensuite sur les locomotives. Des essais prolongés faits sur le chemin de l'Est ont constaté l'efficacité de l'appareil en ce qui concerne la fumivorité. Mais ils ont constaté aussi ce fait grave, que la suppression de la fumée est obtenue aux dépens de la puissance de la chaudière, qui produit moins de vapeur, tout en consommant plus de combustible. Résultats qui n'ont rien de contradictoire, car l'absence de la fumée n'implique nullement, surtout dans l'appareil dont il s'agit, une combustion complète, les gaz pouvant être imparfaitement brûlés ; l'accès d'air, suffisant au niveau où la fumée pourrait se former, dans le charbon nouvellement introduit, ne l'est point aux niveaux supérieurs. Les distributeurs, sans parler de leur complication, accumulent la houille contre les parois latérales du foyer, sur une épaisseur telle que l'air ne peut y pénétrer qu'avec peine, tandis qu'il arrive en excès sur la grille centrale, à peine garnie de combustible. Le mécanicien de la machine 111 de l'Est, sur laquelle les essais continuaient encore il y a quelques mois, n'avait réussi à combattre tant bien que mal ce grave inconvénient qu'en ramenant très-fréquemment la houille, au moyen d'une fourche recourbée, des côtés vers le centre. Souvent même, on chargeait directement par la porte, ce qui est la négation du principe de l'appareil. En un mot, on ne réussissait à obtenir de celui-ci un service passable qu'en se rapprochant beaucoup du mode de conduite du foyer ordinaire, et même avec beaucoup plus de peine et de soins. Sans condamner définitivement le prin-

(*) Voir la note A, à la fin de ce rapport.

cipe d'un appareil ingénieux, et dont l'étude à coûté à son auteur beaucoup de temps et de travail, il faut donc bien reconnaître que l'expérience ne lui a point été favorable jusqu'ici, et que, sous sa forme actuelle, l'appareil Duméry ne constitue pas une solution pratique du problème de la locomotive fumivore.

§ II. FOYER DE M. TENBRINCK.

Des six grands réseaux Français, celui de l'Est, qui consomme exclusivement les houilles très-fumeuses de Saarbrücke, est un des plus intéressés à ce que le problème soit résolu. Aussi ce problème préocupe-t-il depuis longtemps le personnel technique, et, pendant le cours des expériences faites sur l'appareil Duméry, M. Tenbrinck, alors ingénieur adjoint du matériel, cherchait de son côté la solution par une voie différente, en s'efforçant de n'introduire dans les dispositions ordinaires du foyer, que les modifications tout à fait indispensables.

Principes des appareils fumivores. — Rappelons d'abord les principes, communs à la plupart des appareils disposés en vue de la suppression de la fumée, mais appliqués par M. Tenbrinck sous une forme qui lui est propre.

La fumée produite par la houille paraît due surtout à la décomposition des carbures d'hydrogène que dégage la distillation du combustible. Ces carbures brûlent complétement, sans fumée, lorsque l'oxygène est partout en excès, et la température assez élevée. Mais, dans le cas contraire, l'hydrogène est seul brûlé complétement après la décomposition des carbures, et le carbone devenu libre, et très-divisé, constitue l'élément principal de la fumée, chargée en outre d'hydrocarbures soit en vapeur, soit condensés et entraînés mécaniquement. Dans cet état, le carbone est devenu très-difficilement combustible. Aussi, la question n'est-elle pas de brûler la fumée déjà formée, mais de prévenir sa formation, en brûlant *complétement* et *immédiatement* les

hydrocarbures dont la décomposition ultérieure lui donnerait naissance.

A l'exception de l'appareil Duméry, fondé sur l'introduction du charbon frais *sous* le charbon incandescent, tous les procédés fumivores ont un caractère commun, l'accès direct de l'air dans le foyer, *au-dessus* du combustible. Ce complément d'air doit être assez abondant pour brûler les produits de la distillation, pas assez pour refroidir les gaz; car on retomberait alors sur l'inconvénient qu'il faut éviter : celui de la combustion incomplète du carbone devenu libre par la décomposition des carbures et par la combustion, plus facile, de l'hydrogène. Il ne suffit pas d'ailleurs que l'air soit admis en proportion convenable; il faut aussi qu'il se mélange bien avec les gaz à brûler, que ce mélange soit porté à une température assez élevée, et qu'il ait un parcours assez long pour assurer sa combustion complète.

A ces conditions générales, et fort mal remplies, sauf la première, tout au plus, dans la plupart des appareils, il convient d'en ajouter une autre : c'est une indépendance complète entre l'admission d'air dans le foyer, et le chargement du combustible, qui doit d'ailleurs être introduit d'une manière à peu près continue.

Voici maintenant les dispositions adoptées par M. Tenbrinck, pour réaliser ces conditions diverses.

Description du foyer de M. Tenbrinck (voir l'explication des Pl. I et II). — La porte du foyer subsiste, mais elle ne sert plus que pour visiter les tubes, les tamponner au besoin, et décrasser les viroles avec le balai.

Au-dessous de la porte, est pratiquée, dans la double paroi de la boîte à feu et du foyer en cuivre, une grande ouverture rectangulaire, occupant presque toute la largeur de cette paroi, et divisée en deux compartiments affectés, l'un au chargement de la houille, l'autre à l'introduction *facultative* de l'air dans le foyer. Le compartiment inférieur reçoit une

caisse formant saillie sur la paroi postérieure de la chaudière, et dans laquelle le chauffeur introduit la houille en soulevant un clapet. Le combustible devant descendre autant que possible par son poids à mesure que la combustion s'opère, cette caisse est inclinée (36 à 40°) et son fond inférieur plein se raccorde, un peu après son entrée dans le foyer, avec la grille, formée de deux parties : l'une, celle qui fait suite au fond de la caisse, et inclinée comme lui, est fixe; l'autre, horizontale, est mobile à volonté. Elle peut basculer, soit complétement pour jeter le feu, soit partiellement pour faire tomber le gâteau de mâchefer, lorsque la houille employée en produit. Le mécanisme très-simple qui sert à transmettre ce mouvement, est indiqué trop clairement sur les figures pour qu'il soit nécessaire d'insister.

Piquage du feu en marche. — Ajoutons de suite, pour ne pas revenir sur ce point, que l'auteur a eu l'heureuse idée de profiter de l'inclinaison de la partie fixe de la grille, pour permettre d'y piquer le feu pendant la marche. Immédiatement sous la caisse à houille se trouve un clapet recouvrant une ouverture par laquelle on voit facilement, de la plateforme de la machine, le dessous de la grille inclinée, qu'on décrasse aisément au moyen du ringard, lorsque l'espacement et la forme des barreaux le permettent.

Prise d'air. — Au-dessus de la caisse à houille, se trouve la prise d'air munie d'une palette mobile par laquelle le mécanicien règle l'admission à volonté, mais toujours sous forme d'une nappe d'air inclinée, rasant le talus formé par le combustible, et venant par suite rencontrer, dès leur émission, les gaz provenant de la distillation de la houille non encore transformée en coke.

Il reste encore à réaliser plusieurs effets essentiels. Il faut:

1° Échauffer la houille, dès son entrée dans le foyer, pour que sa distillation commence de suite.

2° Mélanger l'air avec les gaz provenant de cette distilla-

tion, et dont il doit opérer la combustion; assurer à ces gaz un parcours assez long, et y produire des remous, afin que le mélange soit bien intime avant que les gaz pénètrent dans les tubes, sur lesquels il ne faut pas compter pour compléter la combustion (*).

3° Restituer à la surface de chauffe directe, l'équivalent de ce qu'elle perd à l'arrière du foyer, c'est-à-dire environ un mètre quarré.

Ces fonctions diverses sont remplies par le bouilleur incliné placé dans le foyer.

Bouilleur. — La flamme produite par le combustible qui couvre la grille inférieure, est infléchie par le bouilleur, forcée de remonter en léchant la houille qui garnit la grille inclinée, et l'échauffe. Mêlée aux gaz et aux vapeurs dégagés par la houille ainsi échauffée, elle vient rencontrer le courant d'air descendant admis par la palette, le refoule en se mêlant avec lui, et le tout forme un courant *avec tourbillons*, qui s'infléchit de nouveau pour franchir l'étranglement compris entre le bouilleur et la paroi d'arrière du foyer, et se diriger vers les tubes, en léchant la face supérieure du bouilleur.

Remarques sur les bouilleurs précédemment employés. — Cet appendice a été souvent employé, mais jamais assurément d'une manière aussi heureuse, aussi efficace. Les bouilleurs divisant le foyer en deux compartiments, soit transversaux, soit longitudinaux, fréquemment appliqués, en Angleterre surtout, aux locomotives, n'avaient qu'un but : l'accroissement de la surface de chauffe directe. Cela

---

(*) Il est évident que les tubes, en raison de leur très-petite section et de leur température relativement très-basse, réduisent beaucoup la température moyenne du cylindre de gaz qui les traverse. Leur fonction est, au surplus, de refroidir les gaz; mais ils sont doublement contraires à l'achèvement d'une combustion incomplète : 1° par la chaleur qu'ils enlèvent aux gaz; 2° par le parallélisme qu'ils impriment aux filets gazeux, et qui exclut leur mélange ultérieur.

suffit cependant, pour qu'on persiste à en faire usage sur plusieurs chemins anglais (*). C'est là un précédent rassurant pour l'appareil de M. Tenbrinck. Le bouilleur qui, placé comme il l'est, constitue un des organes essentiels du système, pourrait, au premier abord, soulever quelques objections, au point de vue de l'entretien, si l'expérience n'avait déjà prononcé. Il n'y a, en effet, aucun motif pour que le bouilleur *supérieur* du foyer Tenbrinck se comporte moins bien que ceux des machines anglaises.

Avantage du mode d'assemblages. — Les dispositions spéciales adoptées par l'auteur pour la liaison du bouilleur avec les parois du foyer donnent même à l'assemblage une certaine flexibilité, dont l'assemblage ordinaire, au moyen de cornières rivées, est dépourvu. Une seule crainte, celle d'une obstruction partielle des tubulures par des dépôts, pouvait être fondée; mais la machine 91, qui vient d'être visitée après un service de deux années, ne présentait pas d'incrustations sensibles dans les tubulures, dont, au surplus, le nettoyage est facile. Des tampons à vis ont été en effet placés en face des tubulures en prévision de la formation de ces dépôts, qui ne s'est d'ailleurs présenté qu'une fois. La machine 0,114 est rentrée aux ateliers avec une tubulure obstruée en partie par des incrustations formées de couches très-minces; le mécanicien aurait pu et dû prévenir cette obstruction.

Remarquons, à ce sujet, qu'il existe un vide entre l'arête inférieure du bouilleur, et la plaque tubulaire. Ce vide doit être bouché, sans quoi une partie du courant gazeux suivrait cette voie, qui est la plus courte. On le bouche avec quelques fragments de briques réfractaires.

(*) Ces bouilleurs, essayés en France (par exemple dans les machines Crampton des chemins de fer de l'Est), ont donné des résultats médiocres. Ils ne conviennent, en effet, qu'avec des cokes de très-bonne qualité, avec lesquels la conduite du feu est facile, et qui permettent de réduire sans inconvénient la capacité des foyers ordinaires, capacité à peine suffisante avec les cokes de qualité inférieure.

§ III. EXPÉRIENCES.

Mise en service de la machine n° 91, *à la fin de* 1859.—Le foyer qui vient d'être décrit a été appliqué pour la première fois à une machine mixte (n° 91) affectée à la traction des trains omnibus. Ainsi modifiée, elle a été mise en service à la fin de 1859, et y a été maintenue depuis cette époque presque sans interruption. Lorsque, par dépêche en date du 26 janvier 1861, M. le ministre me chargea de suivre les résultats de cette application, et de lui en rendre compte, j'avais déjà eu occasion de constater l'efficacité de l'appareil, et de m'assurer que la fumivorité n'est point obtenue au prix d'un inconvénient quelconque, tel qu'une production de vapeur insuffisante, une conduite plus difficile du feu, etc. Mais un examen plus prolongé devenait nécessaire pour remplir la mission qui m'était confiée.

I. *Nouvel essai du gros de Saarbrücke. — Essai du tout-venant.* — J'ai fait d'abord, en conséquence, deux nouveaux voyages sur la machine n° 91, consommant comme toujours de la houille de Saarbrücke. Mais, dans le premier voyage, on brûlait le *gros*, employé exclusivement jusque-là dans les machines à marchandises du chemin de l'Est. Dans le second voyage, il m'a paru très-intéressant de marcher avec le *tout-venant* dont on avait, sur ma demande, fait venir un wagon (*).

(*) Le gouvernement prussien ne livrant que le *tout-venant* de ses mines, et le *gros* convenant seul pour les locomotives à foyer ordinaire, la compagnie de l'Est est dans la nécessité de livrer à bas prix tout le menu provenant du criblage auquel elle procède elle-même. Ce menu trouvait facilement des débouchés tant qu'il s'agissait d'une quantité peu considérable, mais son placement est devenu plus difficile depuis que toutes les machines à marchandises ont été mises à la houille. Cette difficulté s'accroîtrait encore

Fumée nulle, soit en marche, soit en stationnement, le souffleur fonctionnant, au besoin, dans le second cas; production de vapeur facile et régulière, avec l'échappement entièrement ouvert; conduite du feu fort aisée, la descente des charges s'opérant bien, d'elle-même, et suffisant pour maintenir garni le bas de la grille; tels ont été les points constatés, une fois de plus, avec le *gros*, et *pour la première fois* avec le *tout-venant*, point tout à fait capital et sur lequel je reviendrai plus bas.

Remarques sur les fonctions des diverses parties de l'appareil. — Il est impossible de suivre cette application sans être frappé de ses dispositions judicieuses, du sens pratique qui y a présidé. Tout est motivé, tout a un but, nettement déterminé, et l'atteint complétement et simplement.

La descente du charbon est-elle ralentie par une cause quelconque, il suffit d'ouvrir le couvercle de la caisse à houille et d'agiter un peu la masse avec le ringard. Jamais, avec le charbon de Saarbrücke, on n'a besoin de charger par la porte pour garnir des *renards* sur la grille inférieure.

Quant à la manœuvre de la palette d'admission de l'air, le mécanicien est guidé par les indications les plus nettes. Est-elle trop peu ouverte? la machine fume, parce qu'il n'y a pas assez d'air pour brûler immédiatement les produits de la distillation. Le mécanicien dépasse-t-il le but en exagé-

---

à l'époque plus ou moins rapprochée, où le service des voyageurs se fera aussi à la houille, si l'on ne réussissait pas à brûler le *tout-venant*. Cette question a donc pour le chemin de l'Est un intérêt capital. Les autres compagnies ne sont d'ailleurs guère moins intéressées au succès. On ne leur impose pas toujours, il est vrai, la condition de prendre le *menu* avec le *gros*; mais elles n'en auraient pas moins à subir le renchérissement considérable qu'entraînerait l'emploi exclusif du *gros*, ou l'usage indéfini du coke comme moyen de limiter ce renchérissement. Ainsi restreinte, l'application de la houille n'aurait qu'une portée médiocre. Le coke et le gros seraient employés concurremment. Chacun d'eux limiterait le prix de l'autre; ce serait déjà quelque chose; mais le but ne serait atteint qu'en partie.

rant l'ouverture de la palette? la machine fume encore, cette fois, à cause du refroidissement dû à l'excès d'air. Le joint est donc facile à saisir. Ces effets sont très-sensibles, très-nets, et vraiment intéressants.

Notons en passant, comme un inconvénient médiocrement grave d'ailleurs, l'échauffement parfois incommode, au moins en été, de la caisse saillante. Le mécanicien, n'étant plus protégé par une tranche d'eau, souffre de ce rayonnement contre lequel il serait du reste facile de le garantir.

Essais de houilles de natures diverses. — En ce qui concerne les charbons de Saarbrücke, le succès pouvait dès lors être regardé comme un fait acquis pour le *gros*, et au moins très-probable pour le *tout-venant;* avec tous les deux, le foyer Tenbrinck résout parfaitement le problème de la suppression de la fumée. Quant aux autres questions : abondance et régularité de la production, facilité de la conduite du feu, déjà résolues pour l'un, par une longue expérience, elles ne pouvaient l'être pour l'autre que par des essais prolongés et faits dans les circonstances les plus variées. Ils se poursuivent encore en ce moment; j'en parlerai plus loin (page 42).

Une autre question se présentait aussi : ce foyer, disposé spécialement en vue d'un charbon déterminé, réussirait-il également avec d'autres? cela était au moins fort probable, quant aux principes sur lesquels l'appareil est fondé; mais le doute était permis quant aux détails de l'application. En pareille matière, on n'a nullement le droit de généraliser les conséquences et d'affirmer qu'un foyer sera à la fois fumivore et facile à conduire avec tous les charbons, par cela seul qu'il est l'un et l'autre avec les charbons de Saarbrücke. Or c'est là, en définitive, ce qu'il importe à l'Administration de savoir.

Il m'a donc paru nécessaire d'essayer successivement les houilles diverses, indigènes ou étrangères, que les che-

mins de fer français peuvent être conduits à employer. Ces essais ont eu lieu, les uns dans la machine 91, les autres dans la machine à marchandises 0,114 qui a été munie également d'un foyer Tenbrinck.

J'ai suivi personnellement, soit seul, soit avec M. Tenbrinck, ou avec M. Beudant, ingénieur des mines attaché au contrôle, une grande partie de ces nouvelles expériences. Les résultats de celles auxquelles je n'ai pu assister ont été constatés par M. Blacher, garde-mines attaché au même service, que j'avais délégué à cet effet et qui s'est acquitté de cette tâche avec beaucoup de soin et d'exactitude.

Les houilles essayées sont celles de Bézenet, de Charleroi, de Ronchamp, d'Épinac, d'Aubin, de Newcastle, et en outre, les briquettes faites avec la houille de Saarbrücke. Je ne pouvais, d'ailleurs, en présence du résultat si favorable du premier essai sur le *tout-venant* de Saarbrücke, hésiter à tenter aussi, avec les autres, l'épreuve dans toute sa difficulté.

Je reproduis ici les principales circonstances notées dans le cours de cette première série d'essais.

II. *Tout-venant de Bézenet. — Train du 13 mars 1861, de Paris à Meaux et retour. Machine* 91.

Bonne marche, pas de fumée, si ce n'est pendant quelque temps, à l'aller, sous l'influence d'une bourrasque violente avec pluie et grêle. La flamme, refoulée dans le foyer, sortait par la prise d'air, qu'il a fallu fermer. La pression s'abaissant dès lors, force a été, à deux reprises différentes, de serrer l'échappement variable, ce qui n'a jamais lieu dans les circonstances ordinaires.

Au retour, aucun incident à noter. *Pas de fumée.*

En somme, ce charbon a paru, dans ce premier essai, peut-être un peu inférieur à celui de Saarbrücke. Mais cette impression tient sans doute uniquement à ce que le chauffeur et le mécanicien sont plus familiarisés avec l'emploi du premier.

III. *Houille de Charleroi. — Train du 17 mars, de Paris à Meaux et retour. Machine* 91.

La houille employée était du *tout-venant* de belle apparence, mais très-friable, et contenant beaucoup de poussier. Tout le voyage s'est fait sans fumée, et *avec la prise d'air et le souffleur fermés*, si ce n'est au moment où le mécanicien, abordant une station, fermait le régulateur. Alors seulement, la palette à air devait être ouverte. Conduite des plus faciles. Il y a eu trois chargements à l'aller, aucun au retour. Aucun décrassage de la grille. Celle-ci tamisait beaucoup; les barreaux, dont l'écartement doit évidemment être réglé pour chaque charbon, n'étant pas assez serrés pour retenir le poussier.

IV. *Houille de Ronchamp. — Train du 24 avril, de Paris à Meaux et retour. Machine* 91.

Tout-venant de Ronchamp, 50 p. 100 de menu.

L'emploi de ce charbon a présenté, dans ce premier essai, des difficultés qui tenaient moins à ce que la disposition de l'appareil n'est pas appropriée à la nature collante de la houille de Ronchamp qu'à sa grande division et au défaut d'habitude du mécanicien. A l'aller, on chargeait surtout les morceaux; ceux-ci s'agglutinaient par l'effet de la chaleur, et restaient adhérents à la partie supérieure de la grille; il fallait les faire descendre au moyen du pique-feu. A l'arrivée à Meaux, la grille horizontale était tout à fait dégarnie de combustible. Une légère couche de cendres et de mâchefer recouvrait même la moitié inférieure de la grille inclinée, et arrêtait la descente du charbon. Quoique suffisante, la production de vapeur était, on le conçoit, médiocre et assez pénible.

Au retour, il fallut bien employer presque uniquement le menu. La pression baissa bientôt de deux atmosphères, et pendant une heure il fut impossible de la relever; ce n'est qu'en approchant de Paris, c'est-à-dire quand la grille fut à peu près découverte, comme à l'arrivée à Meaux, que l'air put affluer assez librement, ranimer la combustion languissante, et relever la pression.

Ainsi, tel qu'il est disposé, c'est-à-dire pour la houille de Saarbrücke, l'appareil conviendrait médiocrement pour la houille de Ronchamp. Il n'y aurait certes rien d'étonnant à ce qu'il en fût ainsi; on devrait plutôt s'étonner qu'un appareil disposé en vue d'un charbon déterminé, se trouvât

convenir également pour tous les autres, quels que fussent leur nature et leur état. Il est clair, d'ailleurs, que si un premier essai est concluant, quand il réussit, il ne l'est pas lorsqu'il échoue. Chaque espèce de charbon, chaque état d'un même charbon, exigent dans un appareil donné un mode spécial de conduite du feu, une sorte de tour de main que le mécanicien ne saisit pas du premier coup. Des essais ultérieurs du charbon de Ronchamp, dont je n'ai pu constater moi-même les résultats, ont été, à ce qu'il paraît, beaucoup plus satisfaisants.

Quand, au surplus, on s'en tiendrait au résultat de l'expérience du 24 avril, il ne saurait constituer une objection grave. Si le foyer Tenbrinck résout la question de l'emploi *facile*, *pratique* et *sans fumée* de la plupart des charbons, il est assez indifférent qu'il laisse en dehors ceux de quelques gîtes, surtout quand il s'agit, comme pour Ronchamp, d'un gîte restreint, auquel les industries de Mulhouse assurent des débouchés très-suffisants, et qui, en tout état de cause, ne pourrait guère concourir pour une part considérable à l'alimentation des locomotives de l'Est.

V. *Houille d'Épinac. — Train du 30 mai, de Paris à Châlons et retour. Machine* 91.

Tout-venant d'Épinac, contenant environ 50 p. 100 de menu.

Cette houille descend bien sur la grille, mais elle produit beaucoup de cendres, réfractaires, et par suite fort incommodes. A l'aller, le mécanicien, encore peu familiarisé avec son emploi, et craignant de manquer de vapeur, tenait l'échappement variable serré presque à fond, et la prise d'air fermée, l'air appelé à travers la grille suffisant à très-peu près pour prévenir la formation de la fumée. Au retour, le mécanicien, plus hardi, a laissé l'échappement constamment desserré, et la prise d'air ouverte à des degrés variables. La marche a été plus sûre, la production plus franche. Le feu a été piqué trois fois à l'aller et deux fois au retour. *Pas de fumée.*

En somme, la houille d'Epinac est incontestablement susceptible d'être brûlée sans fumée, dans le foyer Ten-

brinck. Mais les difficultés qu'a présentées son emploi dans ce premier essai se sont reproduites avec persistance dans les suivants, et doivent être regardées comme inhérentes à sa nature. — M. Tenbrinck est porté à croire que le charbon expédié au chemin de l'Est était un reste de tas, altéré par une exposition prolongée à l'air. Cette présomption, fondée peut-être, n'a pu être vérifiée.

VI. *Houille d'Aubin. — Train du 15 mai 1861, de Paris à Meaux, machine* 91 :

Tout-venant d'Aubin. Conduite facile. Le charbon descend bien, et n'encrasse pas la grille. Production abondante. *Fumée nulle;* fait d'autant plus remarquable que la houille d'Aubin est regardée, à bon droit, comme une des plus fumeuses.

VII. *Houille de Newcastle. — Train du 29 juillet 1861, de Paris à Meaux et retour, machine* 91.

La houille, livrée par le chemin de fer de l'Ouest, était dans un état de division vraiment excessif. Il n'y avait guère que 1/8 de gros et de menu. Le reste était véritablement de la poussière; à tel point qu'on a dû le couvrir de bâches pour qu'il ne fût pas entraîné par le vent. Ce charbon est d'ailleurs comme on sait, très-pur. Il ne forme pas de mâchefer, et fort peu de cendres, mais il est collant.

L'expérience a prouvé, d'ailleurs, comme on devait s'y attendre, que si le foyer *Tenbrinck* peut faire un bon service avec la houille dont il s'agit, c'est à condition qu'elle ne soit pas réduite en poussière. Elle ne tardait pas, en effet, à former, sous l'action de la chaleur, une masse pâteuse qui adhérait aux parois de la trémie et qu'il fallait constamment détacher avec le pique-feu, tandis que sur la grille elle interceptait le passage de l'air. Aussi la vaporisation était-elle insuffisante, malgré un temps favorable et le serrage presque continuel de l'échappement. A Meaux, pendant un stationnement de sept heures, le mécanicien a dû, contre l'usage, prendre des précautions particulières et décapuchonner à plusieurs reprises pour empêcher l'extinction de son feu.

VIII. *Houille de Mons (gros). — Train du 31 juillet, de Paris à Meaux et retour, machine* 91.

Il était intéressant d'essayer une houille franchement collante,



mais sans compliquer la difficulté, comme dans le cas précédent, par l'exagération de l'état de division. A défaut de houille de New-castle en morceaux de grosseur convenable, on prit de la houille de Mons, cette fois en gros fragments. Aussi, quoique très-collante et moins pure que la précédente, a-t-elle donné de meilleurs résultats. Elle n'obstruait pas la grille, et n'exigeait pas, ou à peine, le serrage de l'échappement. Il fallait bien encore pousser le charbon, trop collant pour descendre de lui-même ; mais ce travail n'avait rien de trop assujettissant. Le feu s'est d'ailleurs maintenu, avec la cheminée capuchonnée, pendant un stationnement de 3h 30', à Meaux.

Quant à la fumée, elle était nulle, avec l'un comme avec l'autre de ces charbons, et aussi bien qu'avec les charbons précédemment essayés. La palette d'admission d'air était même, pendant la marche, tout à fait à fond de course. Il est vrai que dans cet état elle laisse encore passer une mince lame d'air, qui suffisait d'autant mieux que les trains étaient légers, et par suite l'épaisseur du combustible sur la grille peu considérable.

IX. *Briquettes.* — J'ai déjà indiqué la situation dans laquelle se trouve jusqu'ici la compagnie de l'Est, en ce qui concerne le *menu* de Saarbrücke. Commençant à entrevoir le moment où elle en trouverait difficilement le placement, elle devait chercher à le faire entrer en partie dans sa consommation, et c'est dans ce but qu'une machine à fabriquer les agglomérés, a été installée pour essai à Epernay. Le foyer Tenbrinck permettant, comme cela sera complétement établi plus bas (page 42), l'emploi du *tout-venant*, paraît devoir supprimer bientôt la difficulté. Il n'y a donc pas, au moins pour les charbons de Saarbrücke, d'intérêt très-sérieux à savoir si ce foyer peut brûler utilement et commodément l'aggloméré, s'il est établi qu'il brûle bien le *tout-venant.* Mais en envisageant, comme nous le faisons, la question d'un point de vue plus général, et non pas seulement du point de vue du chemin de l'Est, l'essai était bon à faire. En pareille matière, d'ailleurs, il ne faut pas négliger un fait, qui a toujours une valeur réelle.

La machine 91 étant en réparation, la machine à mar-

chandises n° 0,114, qui avait reçu la même transformation, l'a remplacée.

L'essai a eu lieu le 13 juin.

Train d'Epernay à Paris :

Au départ, feu languissant; échappement serré, pour obtenir une production suffisante. (Le train dont il s'agit, affecté spécialement au transport des denrées alimentaires, marche à la vitesse de de 36 kilomètres au moins.) Cependant la prise d'air supérieure ne put être entièrement fermée, sans faire apparaître de suite la fumée.

A Dormans, on pique le feu; la grille est recouverte de mâchefer en larges plaques. Après cette opération, le feu devient beaucoup plus actif; l'échappement est desserré et reste dans cet état jusqu'à Paris. Les fragments de briquettes, introduits dans la caisse, y adhèrent et exigent l'action fréquente du pique-feu pour les faire descendre et garnir la grille. Il y a alors, par suite de la présence sur la grille horizontale de morceaux incomplétement distillés, une émission *passagère* de fumée. Entre Épernay et Paris, il y a eu en tout quatre décrassages de la grille, sur laquelle le mâchefer s'accumulait en abondance. Le feu a été d'ailleurs, grâce à cela, maintenu en bonne allure et sans difficulté.

L'aggloméré dont il s'agit paraît donc être moins traitable, d'un emploi moins facile non-seulement que le *gros*, mais même que le *tout-venant* de la même provenance. La présence du brai rend en effet, le charbon à la fois plus collant et plus fumeux. Mais la cause principale de l'infériorité des briquettes réside certainement dans la grande impureté du menu, dans lequel se concentre la majeure partie des schistes, et dont le lavage était fort imparfait (page 40). C'est surtout, en effet, le mâchefer qui était véritablement gênant par son abondance. Les briquettes provenant du menu de Saarbrücke convenablement lavé feraient probablement un très-bon service.

Ces briquettes présentent d'ailleurs un défaut qui est l'exagération fort rare d'une qualité : elles sont trop tenaces, trop difficiles à briser, et imposent dès lors au chauffeur un travail préparatoire assez pénible. L'agglomération, en un

mot, est trop bien faite : ce qui indique ou une proportion de braì, ou une pression plus considérable qu'ii n'est nécessaire.

En somme, on peut regarder comme établi que le foyer Tenbrinck permet de marcher *dans des conditions vraiment pratiques*, et *sans fumée*, avec tous les charbons essayés, si ce n'est tout au plus l'Épinac, le Newcastle, et peut-être aussi le Ronchamp, charbons qu'il convient d'exclure pour les motifs indiqués, et sans que cette exclusion soit d'ailleurs absolue.

Aucune des dispositions essayées antérieurement n'a, à beaucoup près, obtenu de tels résultats, et par des moyens aussi simples.

Le problème de la locomotive fumivore est donc résolu, non pas sans doute pour tous les charbons sans exception, ni pour tous les états d'un même charbon, mais d'une manière assez générale, assez complète, assez simple, pour que toutes nos grandes lignes puissent, au besoin, profiter de cette solution.

Il faut avant tout, en pareille matière, se garder d'absorber l'attention des mécaniciens par des soins trop fréquents, trop minutieux à donner au foyer. La conduite de la machine n'est ni la seule ni la plus importante de leurs préoccupations. La voie, les signaux doivent être de leur part l'objet d'une attention toujours en éveil, et la sécurité publique serait sérieusement menacée s'ils étaient à chaque instant distraits par la conduite trop assujettissante du feu. Cette condition d'une conduite simple et facile, le foyer Tenbrinck la remplit à un degré remarquable : fait capital et pleinement confirmé par les observations qui seront rapportées plus bas.

Emploi des menus.— Dans certains cas, on sera et on est même dès à présent conduit à aborder un problème plus

radical encore que celui de l'emploi du tout-venant. Les menus, ayant souvent trop peu de valeur pour supporter un transport même fort court, sont livrés sur les fosses à très-bas prix, et finiraient, par suite de la consommation toujours croissante du *gros*, par constituer, faute de débouchés, une sorte de déchet. Lorsque ces menus ne peuvent être ni transformés en coke, ni agglomérés économiquement, leur emploi immédiat dans les locomotives présenterait des avantages évidents. Tel est le problème que M. Belpaire, ingénieur en chef au chemin de fer de l'État en Belgique, a résolu partiellement d'une manière satisfaisante, en appliquant simplement aux locomotives une grille très-longue, très-relevée, à barreaux très-rapprochés, très-étroits, et par suite très-courts et extrêmement nombreux, et sur laquelle le combustible est répandu en couche d'une très-faible épaisseur, $0^{m},05$ seulement (Pl. I, *fig.* 8 et 9) (*). L'extrême rapprochement des barreaux ($0^{m},004$) ne permettant d'opérer le décrassage de la grille que par-dessus, la porte est nécessairement très-large; elle est à deux vantaux et a son seuil au niveau de la grille. On se débarrasse du mâchefer, soit à l'avant par la grille à bascule, soit à l'arrière au moyen d'une trappe ménagée dans la plate-forme du mécanicien. Des ouvreaux ménagés dans la porte permettent d'injecter de l'air au-dessus du combustible; l'admission est réglée au moyen d'un tiroir appliqué à chaque vantail. Ces dispositions atteignent leur but spécial, quoique la condition dont je rappelais, il y a un instant, toute l'importance, — la conduite facile du feu, — ne paraisse guère remplie avec un foyer d'une telle longueur. Il s'agit spécialement, il est vrai, de

(*) La forme de la chaudière se rapproche alors de celle des générateurs tubulaires fixes. La boîte à feu descend à peine au-dessous de la génératrice inférieure du corps, disposition fort commode à certains égards, à cause de la liberté complète qui en résulte pour la répartition des essieux au-dessous de la machine.

machines à petite vitesse, dont les mécaniciens, moins préoccupés que ceux des trains rapides, ont plus de temps à donner à la conduite du feu. Quant à la fumée, quoique la grande longueur de la grille soit par elle-même propre à l'atténuer, cela ne suffit pas, tant s'en faut, avec les houilles vraiment fumeuses, ainsi que je m'en suis assuré moi-même.

Essai sur le chemin d'Orléans. — La machine *Masui* du chemin de l'Etat Belge, a fonctionné à titre d'essai sur les chemins du Nord et d'Orléans. J'ai fait sur cette machine, un voyage de Paris à Orléans, un jour où on essayait du menu, ou plutôt du *tout-venant* d'Aubin. La fumée était très-abondante, à la suite de chaque chargement. Il est vrai que le mécanicien belge, qui avait accompagné sa machine, et qui la conduisait, se souciait fort peu qu'elle fumât. Au lieu de charger le charbon près de la porte, et de le pousser peu à peu avec le ringard, il le faisait répartir immédiatement sur la grille en le lançant avec la pelle, presque jusqu'au fond, faisant ainsi tout ce qu'il faut pour fumer.

Nul doute que le foyer Belpaire, conduit d'ailleurs avec les précautions nécessaires, ne soit assez fumivore avec les houilles peu fumeuses, pour qu'on ne puisse opposer alors la fumée à une solution satisfaisante d'ailleurs, mais seulement pour *certains* menus.

Dans les essais faits en Belgique, le charbon *maigre* des charbonnages de la Basse-Sambre a donné des résultats très-médiocres. Le mâchefer obstruait la grille, et la conduite était extrêmement difficile. Il s'agissait cependant d'un menu criblé et lavé. Le *demi-gras* s'est au contraire fort bien comporté; par contre, les ingénieurs du chemin du Nord déclarent que « les essais faits sur cette « ligne ont été concluants pour l'emploi des charbons menus et « *maigres*. » Il est donc probable que cette dernière expression s'appliquait dans les deux cas à des états réellement très-différents ; d'ailleurs la difficulté résultait, dans le premier cas, non-seulement de la nature du charbon lui-même, mais aussi de celle du résidu de la combustion.

Ce point a, dans certains districts houillers, une telle importance, il se rattache si étroitement au sujet de ce rapport, qu'on me saura gré de résumer ici les observations que veut bien me communiquer un ingénieur très-compétent, M. Van Högärde, directeur des chemins de fer de l'Est-Belge. Membre de la commission chargée d'examiner la machine de M. Belpaire, M. Van Högärde s'est livré pendant plus d'un an, d'abord en cette qualité, et ensuite comme fortement intéressé dans la question par sa position même, à des expériences nombreuses et concluantes sur l'emploi des menus.

C'est surtout le charbon maigre que M. Belpaire avait d'abord en vue, par suite de son bas prix, qui n'excède pas, en général, sur les fosses belges, 3f,50 à 4 francs. Mais la grande proportion de poussier que contient ce combustible exige impérieusement des opérations de lavage et de criblage, opérations coûteuses, qui ne livreraient, en définitive, aux machines que des fines *braisettes*, et encombreraient les charbonnages d'un poussier presque sans valeur, 0f,75 à peine; dans de telles conditions, les avantages qu'on recherche, c'est-à-dire l'économie, la facilité et la sûreté des approvisionnements, auraient bientôt disparu.— La question, c'est de brûler le menu tel qu'il est, sans manipulation, sans élimination, sans déchet; c'est de brûler le poussier avec la braisette.

Les essais prolongés faits sur les chemins de fer de l'État et de l'Est-Belge prouvent qu'il faut renoncer à cet emploi immédiat des menus maigres; mais, par contre, les charbons demi-gras s'y prêtent parfaitement. « Sans criblage ni lavage, dit M. Van Högärde, les « résultats sont excellents. Or le demi-gras ne coûte que 6f,50 à « 7 francs, c'est-à-dire moins cher que le menu maigre après en- « lèvement du poussier. »

La conviction de la compagnie de l'Est-Belge est si bien établie, qu'elle a commandé aux établissements de Couillet dix locomotives du système Belpaire, modifiées en vue de l'emploi exclusif du menu demi-gras, dont le bassin de Charleroi produit des quantités très-considérables. La longueur du foyer est réduite de 2m,44 à 2 mètres, et l'espacement des barreaux porté de 0m,004 à 0m,005. L'épaisseur de combustible atteindra 0m,25 et même 0m,30. Si l'on peut en effet aller jusque-là, ce sera certainement grâce à la pureté du charbon; avec des menus moins purs, cette épaisseur serait à coup sûr exagérée.

Cette disposition de grille, aux dimensions près, appliquée pour essai à trois locomotives ordinaires de l'Est-belge dont les foyers n'ont que 1m,25 de longueur, a donné des résultats très-satisfaisants; ces machines font un service très-régulier sur une ligne dont les

rampes s'élèvent à 0,018. On a dû seulement compenser l'insuffisance de la surface de la grille par la qualité du combustible, et employer du menu *demi-gras* de première qualité, coûtant 8 francs la tonne. Mais M. van Högärde a la conviction que, dans un foyer de 2 mètres, le menu ordinaire, coûtant 6 à 7 francs, réussira au moins aussi bien.

Economie de combustible dans le foyer Tenbrinck. — Le service fait, pendant près de deux ans, par la machine 91, ferait ressortir en faveur du système, une économie notable de combustible. Elle s'élèverait à peu près à 12,4 p. 100 sur la consommation de la houille (tableau n° I), tandis que celle-ci remplacerait très-sensiblement poids pour poids, dans la machine fumivore, le coke consommé par les machines ordinaires (tableau II). Mais la comparaison, établie entre la consommation de la machine 91, et la consommation moyenne des autres machines du même type, n'est peut-être pas parfaitement concluante. Je réserve donc mon opinion sur ce point, tout en reconnaissant que les dispositions si judicieuses qui caractérisent le foyer Tenbrinck doivent, entre les mains d'un mécanicien attentif, assurer une combustion complète des gaz avec le minimum d'air, et réaliser par suite les conditions les plus économiques. Sauf cette réserve sur leur portée réelle, les chiffres suivants méritent d'être reproduits comme parfaitement authentiques.

Tableaux comparatifs des consommations.

Machines mixtes.

N° I. — ANNÉE 1860.

DÉPOTS.	MOIS.	MACHINE N° 91 (Fumivore). Grosse houille. Parcours.	Consommations.	Moyennes par kilom.	MOYENNES des autres machines du même dépôt. Grosse houille (sauf en avril et en octobre). Nombre de machines	Parcours par machine.	Consommations par machine.	Moyennes par machine.
		kilom.	kilog.	kilog.		kilom.	kilog.	kilog.
Épernay.	Décembre.	3.813	55.071	14,44	1	3.321	56.680	17,54
	Janvier. . .	3.813	49.528	12,90	1	3.932	57.791	14,09
	Février. . .	3.158	37.124	11,75	1	3.520	52.480	14,90
	Mars. . . .	1.565	23.624	15,09(*)	1	4.214	47.352	11,23
	Avril. . . .	3.473	39.174	11,28	10	3 538	43.997	9,88 Coke
Paris. . .	Mai.	730	8.000	10,96	»	»	»	»
Metz . . .	Juin. . . .	1.122	9.613	8,56	8	2.042	21.334	10,28
	Juillet. . .	2.111	20.746	9,82	8	2.084	23.300	11,18
	Août. . . .	2.022	23.385	11,06	9	2.108	23.865	11,31
Nancy. . .	Octobre. .	3.798	37.200	9,79	4	4.775	54.318	11,38 Coke
	Novembre	4.888	38.075	7,79	7	4.040	41.907	10,37
	Décembre.	4.182	41.565	9,93	8	3.885	41.530	10,69

(*) Tiroirs grippés. Il a fallu retirer les machines du service.

N° II. — ANNÉE 1861.

Entrée en service : La machine 91 au dépôt de la Villette le 7 janvier 1861; la machine 196 au dépôt de la Villette le 10 septembre 1861.

MOIS.	MACHINES FUMIVORES Grosse houille. Machine 91.	Machine 196.	MOYENNES des autres machines du même dépôt. Coke.	Observations.
	kil.	kil.	kil.	
Janvier	8,14	»	9,57	
Février.	7,54	»	8,32	
Mars.	8,01	»	7,73	
Avril.	6,23	»	8,96	
Mai	9,32	»	8,01	
Juin.	»	»	7,58	(a)
Juillet.	8,68	»	7,92	
Août.	7,29	»	7,81	(b)
Septembre	7,33	6,86	8,39	
Octobre.	8,52	9,75	8,98	
Novembre.	8,85	9,69	9,17	
Decembre.	10,39	8,63	9,66	
Moyenne générale. .	8,20	8,73	8,50	

(a) La machine 91 était aux ateliers en juin.
(b) La consommation d'octobre et de novembre de la machine 196 est sans doute exagérée. Le mécanicien n'a pas fait en octobre un service régulier.
Les deux machines mixtes 91 et 196 consomment la même houille que les machines à marchandises ordinaires, c'est-à-dire le résultat du criblage du tout-venant, dont on a séparé environ 30 p. 100 de menu.

N° III. — ANNÉE 1861. — Machines à marchandises.

Entrée en service : La machine 0,114 au dépôt de la Villette le 28 mai 1861.

MOIS.	MACHINE 0,114. Grosse houille.	MOYENNE des machines ordinaires du même dépôt. Grosse houille.	OBSERVATIONS.
	kil.	kil.	
Juin	14,69	12,97	La consommation de la machine 0,114, avant sa transformation, a toujours été supérieure à la moyenne. Elle ne produit pas bien. Cette comparaison est donc faite dans des conditions désavantageuses pour le système fumivore.
Juillet	14,74	14,58	
Août	11,52	13,65	
Septembre	14,90	15,11	
Octobre	17,28	16,17	
Novembre	19,09	16,62	
Décembre	17,12	17,10	
Moyenne générale	15,62	15,19	

Cette machine consomme de la grosse houille comme les machines ordinaires à marchandises.

La question d'économie ne vient, au surplus, qu'au second rang, malgré son importance, au point de vue de l'Administration supérieure. Pour elle, en effet, la question se réduit à ces termes : L'emploi de la houille en nature est souvent indispensable, presque toujours avantageux; il intéresse, à certains égards, la régularité du service et par suite la sécurité : il faut, en un mot, l'accepter comme une nécessité, comme un progrès. Cela posé, existe-t-il des moyens simples, efficaces, vraiment pratiques, de supprimer la fumée, que les locomotives en marche ou en stationnement, dégagent avec une abondance souvent si incommode?

A cette question, les faits ont répondu. Oui, la fumée peut être supprimée, si ce n'est pour tous les charbons, quel que soit leur état, du moins pour presque tous. Ceux qui sont à la fois trop collants, trop divisés, trop impurs, et à cendre réfractaire, feraient en quelque sorte seuls exception.

Il semble, dès lors, que le moment est venu de déduire des faits leur conséquence immédiate; c'est-à-dire, pour les tiers, le droit non plus seulement théorique, mais effectif,

de n'être plus incommodés par la fumée des locomotives; pour les compagnies, l'obligation de prendre des mesures en conséquence.

Il suffit que l'Administration ait acquis la certitude que cela est possible, facile même aujourd'hui, pour qu'aucun scrupule ne l'arrête. Il me semble d'ailleurs qu'elle n'a pas à recommander, moins encore à prescrire, un appareil déterminé. Plusieurs solutions existent, applicables à divers cas. Une seule, jusqu'ici, celle de M. Tenbrinck, paraît radicale; mais les compagnies qui auront besoin d'y recourir sauront bien le faire d'elles-mêmes, une fois qu'elles seront mises en demeure de rentrer dans les conditions du cahier des charges.

§ IV. ÉTAT DE LA QUESTION SUR CHACUN DES RÉSEAUX.

Mais il est indispensable, pour se faire une idée exacte de l'état de la question, de jeter un coup d'œil sur la situation particulière de chacun des réseaux français et sur les conditions très-diverses de leur approvisionnement en combustible ; diversité qui réagit nécessairement sur la solution de ce problème : brûler des charbons crus, sans produire de fumée.

Remarquons cependant que si les différents réseaux, appelés naturellement à consommer des houilles de nature diverses et très-inégalement fumeuses, ont dès lors plus ou moins à faire pour rentrer dans les conditions réglementaires, leur situation se rapproche assez de l'uniformité pour un des éléments, plus ou moins important d'ailleurs de leur consommation, c'est-à-dire par les agglomérés.

Tant que la question de l'emploi immédiat des menus dans les locomotives n'est pas complétement résolue, il faut, pour en tirer parti, les convertir en fragments assez volumineux. Pour les charbons gras, susceptibles de s'agglutiner sous

l'action de la chaleur, la carbonisation résout le problème, quoique d'une façon peu satisfaisante, puisqu'une opération en définitive assez coûteuse, aboutit à appauvrir le combustible et à le rendre, dans le cas dont il s'agit, moins propre à sa destination : la production de la vapeur. Mais pour les menus de charbons maigres, cette ressource telle quelle fait défaut. Aussi est-ce spécialement à eux que s'applique l'agglomération, opération ingénieuse qui a rendu et rendra encore des services réels, mais qui, au point de vue des chemins de fer, paraît avoir plutôt le caractère d'un expédient d'attente que celui d'un progrès définitif. Si, en effet, on réussit ainsi à reconstituer du *gros*, et cela, sans la destruction de matière combustible qu'entraîne la carbonisation des houilles agglutinables par la chaleur, la dépense n'en est pas moins considérable, 8 francs au moins par tonne. Le véritable progrès, celui qu'il faut poursuivre et atteindre, c'est, je le répète, l'emploi immédiat dans les locomotives du *tout-venant*, même après séparation du *gros* proprement dit, et parfois même l'emploi des *menus* seuls, le *gros* et l'aggloméré étant réservés pour les cas où la production de la vapeur est compliquée de conditions spéciales d'approvisionnement et d'arrimage, comme cela a lieu dans la navigation maritime.

Quoi qu'il en soit, les agglomérés entrent en ce moment pour une très-grande part dans la consommation de plusieurs de nos chemins de fer. Or, quoique formé généralement de charbons maigres, ce produit dégage, par suite de la présence du brai et du goudron, une fumée abondante et particulièrement désagréable. L'influence de la nature plus ou moins fumeuse du menu s'efface même en partie, parce que plus le charbon est maigre, plus il faut forcer la dose de matière agglutinante. Nous n'allons pas cependant jusqu'à admettre que tous les agglomérés, quelle que soit leur provenance, soient équivalents sous ce rapport, et doivent être assimilés aux charbons les plus fumeux; les briquettes de Belgique,

brûlées sur le chemin du Nord, nous ont toujours paru être notablement moins fumeuses que celles de Brassac, par exemple, employées sur le chemin de Lyon. Mais il ne s'agit, en somme, que d'une différence du plus au moins, et il faut reconnaître qu'au point de vue de la fumée, la différence est beaucoup moindre entre les agglomérés provenant de charbons de nature diverses, qu'entre ces charbons eux-mêmes.

I. RÉSEAU DU NORD.

Le gros brûlé sur ce réseau, placé dans des conditions si favorables, provient de Belgique (bassins de Charleroi et du Centre); la consommation s'élève à 37 ou 38.000 tonnes de charbon demi-gras, à faible proportion de matières volatiles (16 à 18 p. 100), très-pur (guère plus de 3 p. 100 des cendres), et à tous égard excellent. La fumée est généralement très-faible, et tout à fait comparable à celle du coke, pourvu que les mécaniciens se conforment aux instructions du service de la traction; ajoutons que la surveillance exercée sur ce point laisse dès à présent très-peu à désirer, et que pour le charbon dont il s'agit, on peut regarder la prescription du cahier des charges comme exécutée à peu de chose près, et son exécution complète comme assurée, dès qu'on le voudra fermement. Mais les charbons dont il s'agit coûtent 20f,50 sur place. C'est évidemment trop cher pour un chemin aussi heureusement placé; il doit tendre à restreindre chaque jour davantage l'emploi du gros, en lui substituant le menu, mais seulement jusqu'à nouvel ordre, sous forme d'aggloméré.

Déjà pour l'exercice 1861, le chiffre de la consommation de la briquette atteindra 45.000 tonnes. Elle provient des bassins de Charleroi et de Mons (Sauvarton). La compagnie pourra d'ailleurs cesser bientôt d'être sur ce point tributaire de la Belgique, les mines d'Anzin s'organisant en ce moment pour une production de briquettes qui doit s'élever à 300.000 tonnes par an.

L'aggloméré belge, livré au chemin du Nord, fait un très-bon service; il contient 6 à 6 1/2 p. 100 de cendres Quand cette proportion s'abaisse à 5 1/2, le fabricant reçoit une prime. Quand elle atteint 7, il subit une retenue. Au delà de 7, la livraison est rejetée.

La proportion de brai et de goudron est considérable, à cause de la maigreur du charbon. Elle s'élève à 8 et même 10 p. 100: ainsi

dénaturée, la houille est nécessairement devenue plus fumeuse. Le chemin du Nord n'est donc pas, sous ce rapport, dans des conditions aussi avantageuses qu'on pourrait le supposer au premier abord.

Les ingénieurs de cette ligne n'hésitent pas cependant à regarder la suppression à peu près complète de la fumée comme facilement réalisable, et cela sans recourir, pour les charbons actuellement en usage (c'est-à-dire le gros et la briquette), bien entendu, à une disposition nouvelle des foyers. On n'hésite pas à se ranger à cette opinion, lorsqu'on voit combien il reste peu à faire pour atteindre le but. Même en faisant la part de l'avantage des conditions naturelles, les résultats déjà obtenus sur le Nord sont un exemple remarquable de ce que peuvent, en pareille matière, une conduite judicieuse du feu, et une surveillance incessante exercée sur les mécaniciens.

Il est à peine nécessaire d'ajouter que toutes les machines à marchandises sont pourvues d'un souffleur ; on en a même appliqué à la plupart des machines à voyageurs.

La situation du chemin de fer du Nord est sur le point de s'améliorer encore, au point de vue économique, par suite du développement des exploitations houillères du Pas-de-Calais. Il va trouver dans les charbons de Lens, notamment, un combustible très-pur, assez fumeux il est vrai, mais pas plus que la briquette belge employée aujourd'hui ; il contient de 28 à 30 p. 100 de matières volatiles. Ce charbon n'a encore donné lieu qu'à quelques essais, et seulement à l'état de mélange ; avec 3/5 de briquettes, 1/5 de gros et 1/5 de tout-venant de Lens, on a fait un service satisfaisant à tous égards.

Mais ce n'est là qu'un acheminement vers la suppression du *gros*, soit naturel, soit artificiel. Le *gros* est un charbon de luxe, qu'il faut réserver pour des applications plus spéciales. L'*aggloméré* paye trop cher l'avantage d'une réunion en masse ; et cela d'autant plus que la première chose que fait le chauffeur, c'est de briser les briquettes. Avec un *tout-venant* qui, comme celui de Lens, ne renferme pas plus de 7 p. 100 de cendres, et qui est d'ailleurs assez collant pour empêcher le tamisage, nul doute qu'on ne puisse forcer beaucoup sa proportion. Mais le but à atteindre, c'est de brûler le tout-venant sans mélange d'aggloméré. Tout ce qui

se rattache aux conditions économiques de la production de la vapeur a été de la part des ingénieurs du Nord l'objet d'études trop suivies, ils ont tiré un trop bon parti des circonstances déjà si favorables dans lesquelles ce réseau était placé, pour que leur attention ne se portât pas de suite sur les circonstances plus favorables encore qui surgissent aujourd'hui. Douze machines, dont les foyers ont été étudiés en vue de l'emploi du tout-venant de Lens, sont en construction. La disposition se rapproche de celle déjà citée des foyers de M. Belpaire. Comme celle-ci, elle est caractérisée par la grande surface de grille ($2^{mq},80$ pour une surface de chauffe de 150^{mq}). Elle en diffère : 1° par l'inclinaison un peu plus prononcée de la grille (1/8 au lieu de 1/10), terminée inférieurement par une portion horizontale; 2° par l'intervalle plus grand des barreaux : 5 millimètres dans la partie inclinée, 6 millimètres dans la partie horizontale; tandis qu'il est seulement de 4 millimètres dans toute l'étendue de la grille Belpaire.

Les conditions actuelles de l'approvisionnement du chemin de fer du Nord en combustible seront donc, selon toute apparence, profondément modifiées dans un avenir prochain. Le tout-venant se substituera au gros, à l'aggloméré, et même au coke. Telle est la tendance logique, et digne à tous égards d'être encouragée, car aujourd'hui moins que jamais l'État peut rester indifférent à tout ce qui intéresse l'exploitation économique des voies ferrées.

Quant à la question de la fumée, on peut admettre que cette transformation n'aggravera pas la difficulté, en prenant, bien entendu, la briquette pour terme de comparaison; et en effet, cette difficulté n'effraye nullement les ingénieurs. Ils acceptent, pour l'avenir comme pour le présent, la condition de brûler la fumée, pourvu que dans l'application on s'attache à l'ensemble des faits, et non à quelques faits accidentels, de nature à motiver des avertissements officieux, et non une répression.

II. RÉSEAU DE L'OUEST.

Il est difficile de présenter, au point de vue de l'approvisionnement en combustible, des conditions plus différentes que celles dans lesquelles se trouvent ces deux réseaux contigus, mais dépourvus jusqu'ici de liaison. Tandis que le premier, pénétrant en Belgique par des lignes qui lui appartiennent, trouve sur le territoire même qu'il dessert, d'immenses ressources pour son trafic et pour sa propre consommation, l'autre s'étend sur une région presque entièrement dépourvue de combustibles minéraux. Les anthracites de la Sarthe et de la Mayenne, auxquels l'agriculture assure d'ailleurs sur place des débouchés avantageux, sont impropres à l'alimentation des locomotives. Touchant le littoral de la Manche en quatre points (cinq même en y comprenant le port de Caen) le réseau de l'Ouest tire exclusivement de la Grande-Bretagne un combustible, excellent, mais cher.

Le coke, presque seul employé pour le service des voyageurs, coûte, livré à Dieppe, de 32 à 33 francs. La houille, affectée à la traction des marchandises, est tirée des exploitations du sud du pays de Galles; c'est le charbon à courte flamme connu dans le commerce sous le nom de *cardiff* proprement dit.

Aux termes du cahier des charges, le charbon doit être trié à la main avant l'embarquement, de sorte que la fourniture ne se compose que de charbon en roche. Arrivé à destination, et au moment d'être chargé dans les wagons de la compagnie, il est criblé aux frais du fournisseur, sur des grilles à barreaux longs de 2 mètres et espacés de 0^m,03. Le gros est livré aux machines, le fin est vendu.

La proportion de cendres ne doit pas dépasser 4 p. 100, condition dont la pureté connue de ce charbon rend l'exécution facile.

Grâce au souffleur dont toutes les machines à la houille sont pourvues, grâce aussi à la surveillance exercée sur les mécaniciens et surtout à la nature du charbon, la fumée est très-faible. On a pu même, à diverses reprises, faire avec la houille la traction des voyageurs. Si l'on y a renoncé, c'est que les inconvénients, très-peu sensibles en général, le devenaient sur quelques points, par exemple, aux environs de Rouen, par suite des nombreux souterrains qu'a exigés la traversée de cette ville.

L'économie, d'ailleurs, est médiocre, tant qu'il s'agit d'un charbon qui coûte, rendu à Dieppe, 27^f,48; à ce prix, on comprend que la compagnie, en présence de quelques plaintes provoquées par la substitu-

tion accidentelle de la houille au coke dans les machines à voyageurs, ait préféré s'abstenir et attendre des conditions plus favorables.

On a essayé les houilles provenant du bassin du centre de l'Angleterre, et connues sous le nom de Grimsby, leur port d'embarquement. Ce charbon est un peu moins cher, mais plus friable; il passe à travers les barreaux. Cet essai n'a pas eu de suite.

Une autre circonstance, le désir d'utiliser les fours à coke que la compagnie possède, tend également à restreindre l'emploi de la houille, au moins jusqu'à l'époque où il présentera des avantages économiques plus prononcés.

Quant à la briquette, elle n'a été employée que pendant quelque temps et sur une petite échelle; elle provenait exclusivement de l'établissement, aujourd'hui fermé, de M. Couillard, au Havre.

En somme, la compagnie de l'Ouest aurait, dans les conditions actuelles, fort peu de chose à faire pour être irréprochable en ce qui touche la fumée. Mais ces conditions ne sont pas normales, définitives. Le chemin de l'Ouest ne les accepte pas comme telles, et il a raison. Être tributaire de l'étranger pour un combustible très-bon, mais très-cher, et qui pourrait un jour faire complétement défaut, c'est, à plus d'un point de vue, une situation mauvaise.

La construction de la ligne de Rouen à Amiens viendra la modifier heureusement, en permettant au réseau de l'Ouest de puiser aux mêmes sources que le réseau du Nord. Amenés par cette voie, les charbons du Pas-de-Calais coûteront environ 18 francs à Rouen, 20 francs au Havre. Ils pourront dès lors lutter avec avantage contre les charbons anglais, malgré leur qualité supérieure. L'industrie normande n'est donc pas moins intéressée que le chemin de fer à l'exécution de cette ligne. Jusque-là, le chemin de fer de l'Ouest est condamné à rester dans des conditions désavantageuses pour lui, mais qui, je le répète, sont, au point de vue de la fumée, dès à présent très-tolérables, et susceptibles, d'ailleurs, de quelques améliorations incontestées. Pour l'avenir, ces conditions devront se modifier et se rapprocher de celles dans lesquelles se trouvera lui-même alors le chemin du Nord. On n'en est pas encore là. Le chemin de l'Ouest a donc du temps devant lui pour étudier la question, et pour profiter de l'expérience acquise ailleurs.

On s'est déjà, du reste, occupé de la question: un foyer modifié d'après les indications d'un inventeur, M. Foucou, a été l'objet de quelques essais bientôt abandonnés, il est vrai; et la compagnie, voulant se rendre compte par elle-même de l'efficacité du foyer de M. Tenbrinck, va faire construire deux chaudières dans ce système.

Eu égard à sa situation actuelle, qui ne peut guère se modifier d'ici à plusieurs années, la compagnie n'aurait pas d'intérêt à entrer plus largement dès aujourd'hui dans la voie des expériences.

III. RÉSEAU DE L'EST.

De même que l'Ouest, ce réseau s'alimente exclusivement à l'étranger, mais à des conditions bien plus favorables. Les mines de Saarbrüke, si riches et d'une exploitation si facile, lui fournissent à un prix relativement bas un combustible d'une pureté médiocre, mais convenable cependant pour les locomotives.

Un jour viendra sans doute où les charbons indigènes concourront à l'approvisionnement de ce réseau ; mais on sait que les laborieuses recherches poursuivies depuis près d'un demi-siècle dans le département de la Moselle (*) n'ont pas obtenu jusqu'à présent le succès qui a couronné les travaux du même genre exécutés dans le Pas-de-Calais. L'allure des couches, les conditions d'extraction, le prix de revient et l'état physique, sinon la nature même des charbons, seront d'ailleurs moins favorables qu'à Saarbrücke. Déjà la houille provenant de la mine de *Petite-Rosselle*, près Forbach, a été essayée dans les locomotives de l'Est : elle a paru équivalente à la houille de Louisenthal en usage sur le réseau, mais elle est extrêmement friable et forme dès lors beaucoup plus de menu (**). Cette mine est reliée au chemin de l'Est, à Styring, par un embranchement sur lequel circulent les wagons de la compagnie ; le tout-venant coûte 13 francs à la fosse et à peu près 14f,50 à Forbach. Le tout-venant prussien est donc déjà plus économique, et la proportion incomparablement plus grande du gros fait ressortir en faveur de celui-ci un avantage bien autrement grand. Jusqu'ici, l'usine de Styring, placée dans les mêmes mains que la mine, consomme seule les charbons de *Petite-Rosselle*, et on ne peut pas prévoir encore l'époque où les charbons de la Moselle lutteront contre la redoutable concurrence de leurs voisins.

Quant au bassin de Ronchamp, d'une importance secondaire, au surplus, il est pour le chemin de l'Est un élément de trafic, plutôt qu'un élément de consommation. J'ai déjà dit pourquoi.

Il y avait cependant un certain intérêt à voir à l'œuvre les pro-

---

(*) Voir l'historique des premiers travaux dans les *Études géologiques sur le bassin de la Sarre*, par M. Jacquot, ingénieur des mines. 1851 ; pages 15 et suivantes.

(**) C'est au point qu'un wagon de 10 tonnes n'a pu fournir que 1.200 kilog. de gros, propre au service des locomotives ordinaires. Les 140 tonnes demandées pour essai à la mine de *Petite-Roselle* ont été, en conséquence, consommées par les machines fixes des ateliers.

duits d'une exploitation située à côté du chemin de fer. Six machines à marchandises, à foyer ordinaire, sont en conséquence, depuis le commencement de novembre 1861, alimentées avec de la houille (gros) de Ronchamp. Le résultat est satisfaisant, comme on devait s'y attendre, car cette houille est certainement de meilleure qualité que celle de Saarbrücke, et, comme on l'a vu plus haut (p. 19), le succès médiocre du premier essai dans le foyer Tenbrinck a dû avoir pour principale cause la proportion et surtout la finesse exagérées du menu. D'après M. Lebleu, ingénieur des mines attaché au contrôle, qui a suivi les essais dans les locomotives à foyers ordinaires, la houille de Ronchamp se comporte très-bien à la grille, se transforme rapidement en coke et donne une cendre très-fusible, qui s'écoule d'elle-même, et qui ne paraît pas corroder les barreaux. La fumée a sensiblement la même intensité qu'avec le charbon de Saarbrücke, mais elle cesse plutôt, conséquence immédiate de la distillation plus prompte du charbon. L'économie ne peut être encore évaluée avec certitude, mais elle paraît notable. La consommation kilométrique de deux des machines marchant à la houille de Ronchamp a été, pendant le mois de novembre, de 13k,80, tandis que celle des machines marchant à la houille de Saarbrücke a été de 16k,30. — Mais, quels que soient ces avantages, ils ne peuvent compenser la différence des prix, le gros de Ronchamp coûtant 22 francs. La houille (*gros*) livrée pour les essais dont il s'agit est d'ailleurs assez pure pour qu'on puisse supposer qu'elle a été triée à la mine, et qu'elle ne représente pas tout à fait l'état moyen des produits.

Jusqu'ici, sauf les essais prolongés dont le foyer Tenbrinck a été l'objet, et quelques expériences avec les foyers ordinaires, la traction des voyageurs est faite au coke et celle des marchandises à la houille.

Le coke est fabriqué par la compagnie elle-même avec la houille moyennement grasse de Duttweiler, plus ou moins bien lavée. Elle se boursoufle très-peu et donne un coke très-poreux. Le rendement, variable suivant le système de four, est à peu près de 60 p. 100 en moyenne.

Les locomotives brûlent à l'état cru les charbons maigres provenant des mines *Von der Heydt*, *Louisenthal*, etc., dans lesquelles on exploite les couches supérieures à celles qui fournissent les houilles à coke de Duttweiler. Le gros, seul employé jusqu'au mois de juillet dernier, contient environ 13 p. 100 de cendres. Cette proportion s'élève sans doute à 17 p. 100 et au delà dans le *tout-venant* (*), ce

(*) Voir la note B.

qui explique, — abstraction faite de la fumée, — les difficultés que présenterait son emploi sur les grilles ordinaires.

Il est même remarquable qu'on ait réussi à faire un bon service, dans les foyers ordinaires, avec du gros aussi impur. Il est vrai que l'inconvénient de l'abondance des cendres est atténué par leur nature; elles forment un mâchefer fusible, qui encrasse peu les barreaux, et ne les corrode pas trop.

Les locomotives ont consommé, en 1860, 76.900 tonnes de coke (*) coûtant, à raison de 28 francs la tonne (**), 2.153.000 francs, et 121.000 tonnes de houille (gros) coûtant, à raison de 15f,35 (***), 1.857.000 francs.

L'aggloméré a été à peine essayé. Le but, en effet, comme je l'ai déjà dit, n'est pas de brûler séparément le gros et le menu en rendant celui-ci possible par une opération trop coûteuse: c'est d'arriver à employer immédiatement le tout-venant. Si donc quelques essais ont été faits avec la briquette, c'est seulement en vue d'assurer provisoirement, et en attendant la solution espérée, une destination aux menus dont la vente deviendrait trop difficile, et qui sont d'ailleurs trop maigres pour être convertis en coke (****). Déjà, pour faciliter son placement, la compagnie a été obligée d'y

---

(*) Ce chiffre comprend environ 3.000 tonnes de coke provenant des usines à gaz de Paris.

(**) Ce prix se décompose ainsi :

	fr.	fr.
Prix de revient sur les fours.	23,00	25,62
Transport à Forbach.	1,42	
Entrée.	1,20	
Manutention à Forbach, déchet dans les dépôts. . . .		2,38
Total.		28,00

(***) Le prix du *tout-venant* s'établit ainsi :

	fr.	fr.
Prix à la mine.	10,80	13,35
Transport à Forbach.	1,35	
Entrée	1,20	

Le *gros*, livré au service de la traction, forme à peu près les 70 p. 100 du *tout-venant*. Son prix de revient dépend, dès lors, du prix de vente du *menu* et des frais de transport dont celui-ci est grevé sur le lieu de la vente. C'est en partant de ces bases, dont je m'abstiens d'indiquer le détail, que le prix de revient du *gros* est estimé à 15f,35, chiffre, en réalité, un peu trop faible.

(****) Pendant le mois d'octobre dernier, la briquette entrait seulement pour 8 tonnes dans une consommation journalière de 365 tonnes de charbon cru. Les machines du dépôt d'Épernay sont les seules qui brûlent de l'aggloméré, et à l'état de mélange à raison de 1/8 pour 7/8 de houille.

Les essais d'agglomération ont été faits, soit sur du menu entièrement lavé, soit sur un mélange à volumes égaux de menu lavé et de menu sale. La briquette contient, dans le premier cas, 8 à 9, et dans le second, 11 à 12 p. 100 de cendres. La proportion de matière agglutinante s'élève à 9 p. 100 : 7 de brai sec et 2 de goudron. Ce mélange coûte 40 fr. la tonne.

laisser une proportion notable de *gros* et de *moyen*, et d'en faire ainsi jusqu'à un certain point du tout-venant.

On emploie pour le criblage du tout-venant, à la houillère de *Von der Heydt*, deux grilles différentes, suivant la qualité des charbons et les conditions plus ou moins favorables du débit du menu : l'une, à barreaux écartés de 3cm,5, donne de 36 à 38 p. 100 de menu; l'autre, à écartements de 2cm,6, en donne de 24 à 26 p. 100.

Formée d'un charbon très-fumeux par lui-même, la briquette l'est nécessairement encore plus. Cette considération, le débouché à peu près assuré au menu tant que le chemin de fer n'en verse pas une trop grande masse sur le marché, et, je le répète, l'espoir d'une solution plus radicale pour l'époque où ce débouché cesserait de suffire, expliquent l'emploi si restreint sur l'Est d'une variété de combustible dont la consommation a pris un si grand développement sur d'autres lignes.

Comme sur la plupart des autres lignes, la situation s'est déjà beaucoup améliorée sur le chemin de l'Est, en ce qui concerne la fumée, grâce à l'usage du souffleur (usage trop rare, et qui va être réglementé par un ordre de service), et à une conduite plus intelligente du feu. Quelques trains de voyageurs, à faible parcours, ont pu même être remorqués à la houille sans soulever, ainsi que je l'ai constaté, la moindre plainte, sans même que personne ait remarqué le fait. Il est probable que, s'il ne s'agissait que d'améliorer encore les conditions actuelles en continuant à employer la houille seulement à l'état de gros, et seulement dans les machines à marchandises, on y parviendrait sans avoir besoin de recourir à des dispositions nouvelles des foyers. Mais il est bien difficile d'admettre que cet emploi pût s'étendre aussi aux machines à voyageurs, et dès lors le but serait loin d'être atteint. Si, par exemple, la translation *extrà muros* du dépôt de Strasbourg a mis un terme aux réclamations continuelles et très-fondées que provoquait l'ancien état de choses, ce n'est pas seulement parce que le nombre des machines en stationnement dans la gare intérieure est beaucoup moindre, c'est aussi et surtout parce que les machines à voyageurs, qui entrent seules en gare aujourd'hui, brûlent du coke. Le mal reparaîtrait, moins grave sans doute, mais réel encore, si ces machines étaient mises à la houille sans être rendues vraiment fumivores.

On l'a vu, d'ailleurs. Envisagée seulement au point de vue du service des marchandises, la question de la suppression de la fumée est liée, sur le chemin de l'Est, à une question d'une grande

importance économique. Ce qu'il s'agit de brûler, non-seulement sans fumée, mais aussi sans difficulté, sans affecter la régularité du service, ce n'est pas du charbon gros ou de l'aggloméré, c'est du *tout-venant*.

Ce problème, la compagnie ne s'est jamais flattée de le résoudre par de simples soins dans la conduite du feu. Leur influence est grande sans doute, mais elle n'irait pas jusque-là. On peut demander beaucoup aux mécaniciens, surtout en les intéressant au succès, mais il ne faut pas leur demander l'impossible. C'est surtout parce que la compagnie a entrevu une solution dans le foyer Tenbrinck que ce système, conçu seulement en vue de la fumivorité avec le charbon gros, a fixé son attention. Si cet espoir se réalise, et tout indique qu'il se réalisera, l'auteur, comme cela arrive parfois, aura trouvé plus qu'il ne cherchait.

Détails sur l'emploi de tout-venant. — L'importance des essais faits dans ce but est frappante. La question de l'emploi des menus, sinon seuls, du moins mêlés au gros, n'est pas un côté secondaire de la question de l'emploi de la houille, c'est pour ainsi dire la question elle-même; il est donc nécessaire d'exposer avec quelques détails la situation actuelle de l'expérience.

Une machine à roues libres (n° 16, *la ville de Saint-Avold*) pourvue du foyer Tenbrinck, fait régulièrement le service des voyageurs entre Nancy et Forbach.

Elle brûle constamment du *tout-venant* depuis le 8 juillet dernier. Il est arrivé seulement quelquefois, lorsque le temps était trop contraire, que le mécanicien n'a pas osé s'aventurer avec un combustible moins traitable que le gros, et avec lequel d'ailleurs il n'était pas encore parfaitement familiarisé. Il prenait alors de la houille qu'il avait triée lui-même.

La conduite du feu, nécessairement un peu plus assujettissante qu'avec le gros, ne présente pas cependant de difficultés sérieuses; le principal, pour ne pas dire le seul inconvénient, consiste dans l'abondance du mâchefer que le mécanicien doit s'attacher à rendre moins gênant, jusqu'à ce qu'il puisse s'en débarrasser. Au premier indice d'abais-

sement de la pression, il décrasse la grille inclinée en refoulant autant que possible le mâchefer vers la plaque tubulaire; la grille horizontale se recouvre ainsi d'un gâteau qu'on enlève ensuite sur la fosse à piquer. En somme, le service se fait régulièrement depuis six mois, entre Nancy et Forbach, à condition d'enlever à Metz le gâteau inférieur de mâchefer, et d'y compléter le décrassage de la grille inclinée. On peut donc regarder comme un fait acquis l'emploi normal du tout-venant de Saarbrücke, dans le foyer Tenbrinck, pour un parcours de 126 kil., avec un arrêt à moitié chemin environ pour piquer complétement le feu.

La machine n° 21 fait également avec du tout-venant le service des voyageurs sur la ligne d'Épinal; elle donne lieu aux mêmes observations.

Le succès complet ne paraîtra donc pas douteux, surtout si l'on se reporte à l'époque où l'emploi de la houille en morceaux, reconnu si facile aujourd'hui, était réputé presque impossible. Il y a moins loin du gros au tout-venant que du coke à la houille, et les mécaniciens ne tarderont pas à se former la main.

Comme exemple d'un de ces expédients que suggère la pratique, mais qui serait difficilement appliqué dans le cas dont je m'occupe, j'indiquerai la méthode adoptée sur le chemin de Lyon par les mécaniciens qui marchent à la houille (briquettes). Ils ont à peu près renoncé à piquer le feu sur les fosses; la faible épaisseur du combustible ne leur permettant de décrasser la grille que par le dessus, ils rassemblent le mâchefer et l'enlèvent, par la porte, au moyen d'une sorte de fourche recourbée dont ils se sont munis d'eux-mêmes.

Quant à la fumée, on est à cet égard exactement dans les mêmes conditions avec le tout-venant de Saarbrücke qu'avec le gros, c'est-à-dire que la fumée est presque constamment nulle.

Reste le tamisage. On conçoit que la formation du mâchefer tend à l'atténuer, surtout dans la région inférieure du foyer; pour l'empêcher dans la partie supérieure, on

peut, ou réduire progressivement, du bas vers le haut, l'intervalle des barreaux, ou appliquer à ceux-ci, à la partie supérieure, des ailettes latérales. La première disposition est représentée par les *fig.* 1 et 2, Pl. I, et 1 et 2, Pl. II. La seconde par les *fig.* 4 et 5, Pl. I. Il y avait d'abord de chaque côté deux ailettes horizontales; ce nombre vient d'être porté à trois dans les nouveaux barreaux. Les mécaniciens ont paru peu satisfaits de cette addition qui ne leur permet plus de piquer complétement la grille par-dessous pendant la marche, opération à laquelle se prêtait, comme on l'a vu, la disposition primitive. Mais, quoi qu'on fasse, il faut bien avec du tout-venant réduire les intervalles des barreaux, au moins dans la partie supérieure, à un point qui ne permet plus d'y introduire le pique-feu; peu importe, dès lors, sous ce rapport, que cette réduction soit obtenue par le rapprochement de barreaux à section constante, ou par des saillies adaptées à des barreaux très-écartés; on ne regarde pas d'ailleurs l'inconvénient comme très-grave, car les nouveaux barreaux ont été appliqués à toutes les machines à foyer Tenbrinck, aussi bien à celles qui brûlent du gros qu'à celles qui brûlent du tout-venant; l'avantage de n'avoir qu'un seul type, et surtout la presque certitude que toutes les machines dont il s'agit seront mises bientôt au régime du tout-venant, ont conduit à prendre ce parti.

Les nouveaux barreaux, qui sont en fonte, se déforment moins d'ailleurs que les barreaux en fer du premier modèle; la grille horizontale, toujours en fer, est formée de barreaux à section quarrée de 25 millimètres de côté sur $0^{m},36$ de longueur.

Consommation de tout-venant. — Le tableau ci-dessous indique les consommations comparées des deux machines 16 et 21 marchant depuis le mois de juillet avec du tout-venant, et des autres machines du même type faisant, au coke, le même service :

Machines à roues libres. { Machine 16. Dépôt de *Montigny*. Machine 21. *Id.* *Nancy*.

MOIS.	MACHINES FUMIVORES. Houille tout-venant.		MACHINES ORDINAIRES. — COKE.					
			CONSOMMATION maximum. — Dépôt de		CONSOMMATION minimum. — Dépôt de		CONSOMMATION moyenne du dépôt de	
	Machine 16.	Machine 21.	Montigny	Nancy.	Montigny	Nancy.	Montigny	Nancy.
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
Juillet.	7,08	aux ateliers	7,16	»	6,40	»	6,91	»
Août	6,18	7,16	7,94	7,55	6,34	5,57	6,82	6,66
Septembre	6,89	7,21	7,92	7,84	6,98	6,14	7,45	6,74
Octobre.	7,22	9,24	»	»	»	»	7,70	7,22
Novembre.	6,71	9,26	»	»	»	»	8,06	6,78
Décembre.	7,77	6,98	»	»	»	»	8,40	7,50
Moyenne générale. .	6,97	7,97	»	»	»	»	7,56	6,98

Observations. — La consommation d'octobre et de novembre de la machine est probablement exagéré; elle n'a pu être constatée bien rigoureusement, le mécanicien de cette machine n'ayant pas fait alors un service régulier.

Les machines 16 et 21 consomment de la houille tout-venant, telle qu'elle est livrée à la compagnie par les houillères de Prusse.

Il est inutile de faire ressortir l'importance de ces chiffres. Le *tout-venant* remplaçant, poids pour poids, le *coke*, — un combustible à 13f,35 se comportant comme un combustible à 28 francs, c'est là assurément un résultat inespéré.

Je suis loin d'ailleurs de l'accepter comme absolu. Mais en le prenant tel qu'il est et en faisant une large part aux causes d'incertitude qui l'affectent, on ne peut nier qu'il soit au moins fort encourageant.

Déjà la compagnie a pu régler les allocations du *tout-venant*, et si elle a dû, dans le début, le faire largement, elle a pu les renfermer cependant dans des limites modérées (*).

On voit, en définitive, que le chemin de l'Est est, non plus sur la voie, mais on peut le dire avec confiance, en possession d'un grand progrès. En serait-on là si une sage

(*) Voir la note C.

tolérance n'avait protégé les essais dont la compagnie est sur le point de recueillir le fruit; si l'Administration publique, s'attachant à la lettre plus qu'à l'esprit de la prescription formulée par le cahier des charges, s'était opposée aux expériences, au travail dont ce succès sera le prix?

Mais aujourd'hui, en rentrant dans les conditions réglementaires, l'Administration n'a plus à craindre de comprimer le progrès; cette mesure le stimulera, au contraire, pourvu, bien entendu, qu'elle laisse à la compagnie le temps matériellement indispensable pour opérer la transformation sur laquelle est fondée la solution de ce double problème: emploi du tout-venant, suppression de la fumée.

Outre les cinq machines en service, quatre autres sont en chantier: deux mixtes, et deux ordinaires à marchandises.

Le foyer Tenbrinck est donc appliqué déjà à des machines de trois catégories: voyageurs, mixtes, marchandises à six roues couplées. Deux catégories restent jusqu'à présent en dehors: les *Crampton*, et les machines à huit roues couplées, tant celles du système *Engerth* modifié que celles qui résultent de leur transformation. Les *Crampton* sont à peu près incompatibles avec le système Tenbrinck, par suite de la position de l'essieu d'arrière. Quant aux *Engerth*, leurs foyers plus neufs sont encore en très-bon état, et on choisit naturellement pour leur appliquer le nouveau système, les machines dont les foyers exigent de grosses réparations.

Les *Engerth* continuent d'ailleurs à entrer successivement aux ateliers pour y être transformées en machines ordinaires à huit roues couplées et à tender indépendant.

Cette transformation a été adoptée, comme on sait, également au Semring (*), et ses motifs ont été si amplement

(*) Voir la note de M. Desgranges, directeur du matériel des chemins de fer Sud-Autrichiens-Lombards. *Annales des mines*, 5e série, t. XIX, 1861, page 481.

confirmés, sur l'une et l'autre ligne, par le service comparé des machines avant et après leur transformation, qu'il a bien fallu se rendre à l'évidence. Il ne sera pas sans intérêt d'indiquer ici la situation actuelle de l'opération sur l'Est. Les machines découplées et lestées sont au nombre de sept, savoir :

Numéros.	0,172	0,182	0,179	0,175	0,185	0,168	0,187
Date de la mise en service.	1er nov. 1859	1er nov. 1860	1er fév. 1861	20 juillet 1861	1er oct. 1861	20 nov. 1861	20 nov. 1861
Parcours total au 31 déc. 1861.	kilom. 79.153	kilom 47.068	kilom. 35.171	kilom. 18.948	kilom. 9.804	kilom 4.641	kilom. 4.315
Parcours mensuel.	3.000	3.360	3.200	3.550	3.868	»	»

Note du service du matériel. — Après un parcours de près de 80.000 kilom. en vingt-six mois, la machine 0,172 est en très-bon état et susceptible de faire encore un long parcours.

Trois autres machines vont être terminées, de sorte qu'avant la fin de février 1862, la compagnie aura déjà en service dix machines découplées sur vingt-cinq, chiffre qui constituait son effectif en machines Engerth.

Ligne des Ardennes.

J'ai peu de chose à dire de cette ligne, destinée à se confondre bientôt avec le réseau de l'Est, mais placée, en ce qui concerne les combustibles, dans les mêmes conditions que le Nord. Elle tirera bientôt directement de la Belgique le charbon qu'elle reçoit aujourd'hui par l'intermédiaire du chemin du Nord.

Les locomotives ont consommé en 1860 :

	Prix rendu à Laon fr.
5.324 tonnes de coke valant, à raison de 31f,80	169.318
4.432 tonnes de briquette. 25f,40	112.575
1.548 tonnes de houille. 30f,20	46.956

Le chemin des Ardennes n'éprouvera pas plus de difficulté que celui du Nord à rentrer, en ce qui concerne la fumée, dans les conditions réglementaires.

IV. RÉSEAU DE PARIS A LYON A LA MÉDITERRANÉE.

1° *Section Nord.*

Comme les chemins qui précèdent, le chemin de Paris à Lyon fait la traction des voyageurs avec du coke, et celle des marchandises avec du charbon cru, mais presque uniquement à l'état d'aggloméré.

Le prix élevé du gros, provenant des bassins sur lesquels ce réseau s'approvisionne nécessairement, lui en interdit en effet presque entièrement l'usage. Des marchés passés à raison de 26 fr., pour des charbons de Saint-Étienne, n'ont pu être exécutés. Les charbons de Blanzy, en possession de débouchés nombreux, sont également trop chers. Le gros de Brassac n'entre lui-même dans la consommation du chemin de fer que pour une très-faible proportion. Quant aux houilles du Nord, qui coûtent à Paris 35 fr., on a dû également y renoncer. Il y a trois ans qu'on n'en consomme plus.

Dans cette situation, la question de l'emploi des menus en nature n'ayant pas été encore abordée d'ailleurs, c'est seulement par l'usage exclusif des briquettes pour le service des marchandises que le chemin de Lyon pouvait s'affranchir de l'usage onéreux du coke.

La consommation journalière s'élèvera, pendant l'année 1862, à plus de 300 tonnes d'aggloméré, de provenances diverses.

Au premier rang figure la Loire (la Chazotte) pour 140 tonnes; au second, Brassac pour 100 tonnes; au troisième, Épinal pour 50 tonnes; au quatrième, la Belgique (Gosselies), pour 30 tonnes.

Pendant ces dernières années, on avait employé aussi la briquette de Sauvarton (bassin de Mons). On y a renoncé, parce que, — de très-bonne qualité d'ailleurs, — elle exerçait une action très-nuisible sur les mécaniciens, dont le visage se couvrait de pustules. Il faut ajouter que cet effet, attribué à la présence d'une proportion notable de créosote, n'a jamais été observé sur le chemin du Nord, qui fait usage de la même briquette; elle alimente même seule quelques dépôts : celui de Douai, entre autres. Il ne s'agit donc probablement que d'un fait accidentel.

La briquette de la Loire coûte, rendue sur la ligne à Pont-d'Ane, 21f,20 (y compris 0f,80 pour transport);

Celle de Brassac, 17 à 18 francs, sur place, chiffre qui pourra être ultérieurement réduit;

Celle d'Épinac, 27f,20, rendue à Dijon;

Celle de Belgique, 28f,75, rendue à Paris (en Belgique, 15 fr.).

On voit, d'après cela, combien la compagnie était intéressée à développer, comme elle l'a fait, la production de Brassac, qui doit prendre encore de l'extension. Le principal obstacle était l'impureté des charbons; on en a triomphé par un lavage soigné. Les charbons employés à l'usine d'aggloméré de Brassac sont ceux de : Grosménil (1/2 gras), Combelle (sec), et Bouxhors (gras), respectivement dans les proportions suivantes : 6 du premier, 4 du second, 3 du troisième, mais sans s'astreindre à un dosage constant.

La proportion de brai est de 8 p. 100; la teneur en cendres, aux termes du cahier des charges, de 7 p. 100 au plus, chiffre qui correspond à 7,6 p. 100 dans le charbon. De 7 à 9, le fournisseur subit une retenue; au delà de 9, la livraison est rejetée.

Ces agglomérés, malgré la diversité de leur origine et de leur nature, sont regardés comme équivalents dans le service. Le point essentiel, l'état physique des cendres, n'a pas d'influence bien sensible tant que leur proportion ne dépasse pas 7 p. 100. Cette influence se manifeste au contraire bien nettement quand la proportion s'approche de 9 p. 100. J'ajouterai cependant que les mécaniciens s'accordent à déclarer que la briquette d'Épinac, quoique généralement plus pure que celle de Brassac, est d'un emploi plus difficile; sa cendre réfractaire obstrue le passage de l'air, tandis que le charbon de Brassac donne une cendre fusible.

On aurait une idée fort incomplète des avantages que le chemin de Lyon retire de la substitution de la briquette au coke, si l'on se bornait à comparer les prix de revient. Il faut ajouter en effet que la consommation kilométrique des machines à marchandises brûlant de la briquette est inférieure de 10 p. 100 à celle des mêmes machines brûlant du coke.

C'est un progrès très-réel, sans doute; mais ici encore il reste beaucoup à faire. Brûler dans les machines à voyageurs du coke à 35 fr., dans les machines à marchandises de l'aggloméré à 18, 27 et 29 fr., et cela quand le tout-venant coûte à Brassac, par exemple, 11 fr. environ, ce n'est certainement pas le dernier mot.

On a réussi d'ailleurs, à développer l'emploi relativement économique de la briquette et à atteindre le chiffre de 300 tonnes par jour,

sans que la fumée ait été le sujet de plaintes graves. Sur le chemin de Lyon comme sur les autres, l'expérience acquise par les mécaniciens a déjà beaucoup atténué le mal, et il serait facile de l'atténuer encore : la première chose à faire serait d'appliquer, à l'exemple des chemins précédents, des souffleurs à toutes les machines qui brûlent de la briquette.

Le chemin de Lyon n'a pas encore des idées aussi arrêtées que ceux du Nord et de l'Est sur le but vers lequel il doit tendre. Il ne se trouve pas placé, comme ceux-ci, en présence d'un problème aussi nettement déterminé que l'emploi du tout-venant du Pas-de-Calais pour l'un, et du tout-venant de Saarbrücke pour l'autre. On conçoit qu'avant de s'engager lui-même, il attende le résultat de l'expérience faite par les autres. Toutefois, les conditions actuelles ne sont certainement que provisoires; et quand on réussirait à éliminer à peu près complétement les inconvénients de la fumée produite par les machines à marchandises brûlant de la briquette, ce ne serait qu'un demi-succès, dont le chemin de Lyon ne se contentera pas le jour où il entreverra la possibilité de concilier une grande économie avec la régularité du service, qu'il regarde à juste titre, comme devant prévaloir sur toute autre considération.

Ce chemin n'a d'ailleurs pas d'objection à élever contre l'application, intelligente et mesurée bien entendu, de la clause du cahier des charges. Comme les précédents, il admet qu'elle n'aura pas pour effet de restreindre l'emploi de la houille, conséquence qui serait d'une extrême gravité économique, contraire au véritable progrès, et dès lors, je n'en doute pas, aux vues de l'Administration supérieure. Seulement, encore incertains sur le choix des dispositions qu'ils devront prendre pour se conformer à la prescription dont il s'agit, et sur les limites mêmes que l'intérêt de la compagnie les conduira à assigner au problème de l'emploi de la houille, les ingénieurs du chemin de Lyon insistent sur la nécessité d'un délai assez prolongé; ils font remarquer également qu'un foyer fumivore doit, sous peine d'être tout à fait inacceptable, quelle que soit son efficacité, laisser intacte la puissance de production des locomotives.

Cette condition est, en effet, de rigueur. Mais en présence des résultats acquis sur le chemin de l'Est, on peut affirmer que le foyer Tenbrinck la remplit parfaitement.

Ce système a, au surplus, fixé l'attention de la compagnie de Lyon. Elle avait déjà résolu d'en faire elle-même l'essai, sans avoir eu vue un but bien déterminé, comme la suppression de la fumée, ou l'emploi partiel des menus, et en se réservant de juger, par sa

propre expérience, de la nature des services qu'on peut en attendre. Deux chaudières doivent être prochainement transformées.

2° *Section Sud* (*).

Cette section tire exclusivement son combustible, coke et houille, des mines de la Loire et du Gard. Les machines à voyageurs ne brûlent que du coke. Les mécaniciens se munissent toujours, il est vrai, d'une petite quantité de houille ou de briquette dont quelques morceaux suffisent pour relever au besoin la pression; mais cette addition à petites doses, interdite d'ailleurs dans les stations, ne présente aucun inconvénient: on ne peut donc que recommander cette pratique déjà en usage sur plusieurs autres lignes.

Le coke de la Grand-Combe coûte 27 fr. la tonne rendu à la Pise. Il contient 9,13 p. 100 de cendres. Le coke de la Loire coûte, rendu au Marais, 26 fr. Sa teneur en cendres est de 8 p. 100. Le coke de Bességes a été employé seulement pour essai. Il coûte sur place 24 fr.

La consommation des cokes de ces trois provenances s'est élevée respectivement, pendant l'année 1860, à 28.000, 11.000 et 198 tonnes.

Contrairement à l'usage établi sur les autres lignes, les machines à marchandises brûlent toutes du coke, généralement 1/3 pour 2/3 de charbon gros ou de briquettes (**).

On a consommé en 1860 :

1° *Houille :*	24.000 t.	de la Grand-Combe coûtant	16 fr.	à la Levade.
	8.600	de Bességes.	16	à Bességes.
	446	de la Loire.	28f,50	au Marais.
	194	de Portes.	15f,50	à la Pise.
2° *Briquette :*	3,467 t.	de la Grand-Combe coûtant	17 fr.	à la Pise.
	1,692	de la Loire.	20	au Marais.

Les trains mixtes sont remorqués par des machines brûlant, vers le nord, moitié coke et moitié briquette de la Loire, vers le sud, moitié coke et moitié houille de la Grand-Combe.

La fumée est généralement faible; la proportion notable de coke l'atténue, et on prend d'ailleurs toutes les précautions usitées pour

(*) On sait que la fusion des deux sections n'a réalisé jusqu'ici que l'unité financière, et qu'elles forment encore, en fait, deux exploitations parfaitement distinctes : séparation justifiée du reste par leur développement considérable, mais qui n'est pas tout à fait exempte d'inconvénients.

(**) Voir la note D.

l'atténuer encore soit en marche soit pendant les stationnements; les dépôts ainsi que les voies de garage étant assez éloignés des habitations, la situation est, à tout prendre, très-tolérable. Quant aux trains mixtes, les voyageurs, placés à l'arrière, et par suite séparés de la machine par un assez long intervalle, ne sont jamais incommodés par la fumée, encore moindre d'ailleurs puisque la proportion de coke est alors plus forte.

Les observations présentées au sujet de la section nord s'appliquent en partie à la section sud.

L'emploi du tout-venant et même du menu est depuis un an l'objet de quelques essais sur cette ligne. Une machine a reçu dans ce but une grille spéciale représentée par les *fig.* 10, 11 et 12, Pl. I, que M. Schœlhemmer, ingénieur en chef du matériel, a bien voulu me communiquer. On voit que cette disposition consiste : 1° Dans la très-faible largeur des barreaux, très-rapprochés et très-nombreux, et laissant ainsi une section totale suffisante pour le passage de l'air, tout en s'opposant au tamisage. 2° Dans un mécanisme qui permet au mécanicien d'incliner toute la grille et de la décrasser ainsi par le dessus, la petitesse des intervalles des barreaux ne permettant pas de piquer le feu en dessous.

On remplit ainsi deux des conditions, mais non la plus importante de toutes : un combustible très-divisé et renfermant même une proportion plus ou moins grande de poussier, ne peut être brûlé que sur une épaisseur très-faible, et il faut que cette faiblesse soit rachetée par un accroissement corrélatif de la surface de la grille. Sinon, on ne peut maintenir, et encore imparfaitement, la production qu'en exagérant l'épaisseur, et par suite en serrant l'échappement, inconvénient d'autant plus grave dans ce cas que le poussier est aspiré dans la boîte à fumée.

3° *Chemin de Lyon à Genève.*

Les trains de marchandises sont remorqués sur cette ligne au charbon cru, gros ou aggloméré. On emploie aussi la houille à l'état de mélange, non-seulement pour les trains mixtes mais encore pour les trains de voyageurs; la proportion habituelle est de deux tiers de coke et un tiers de gros ou de briquette. Tant qu'on ne dépasse pas cette limite, et à condition d'introduire la houille peu à peu sur le coke incandescent, la fumée est faible et ses inconvénients peu sensibles. Elle devient au contraire très-incommode lorsque la proportion indiquée est dépassée, surtout lorsque, comme on a quelquefois essayé de le faire, la houille est employée

seule. Les voyageurs ne manquent pas alors de faire entendre de justes plaintes.

Le chemin de Lyon à Genève a donc poussé l'emploi de la houille plus loin que les grandes lignes (*). Comme elles, et plus qu'elles, il a intérêt à le pousser plus loin encore, et à concilier avec la suppression de la fumée, l'application de la houille sous sa forme la plus économique. Moins que tout autre il pourrait rester indifférent en présence de la solution de ce problème.

4° Chemin du Dauphiné.

La suppression de la fumée est également à l'étude sur cette ligne. Après un essai infructueux du système Duméry, on a appliqué à une machine mixte (n° 1) une disposition proposée par M. Toni Fontenay, ancien ingénieur de la ligne de Saint-Rambert à Grenoble. Cette disposition, représentée par les *fig.* 10 à 13, Pl. II, consiste : 1° dans l'inclinaison de la grille ; 2° dans l'addition d'un bouilleur *b*, *b*. Comme ce bouilleur masquerait les tubes, il présente une large échancrure *e*, *e* fermée par une porte à deux battants.

D'après les renseignements qui m'ont été communiqués par M. l'ingénieur des mines Baudinot, les essais ont été satisfaisants. On brûlait de la briquette de la Loire. « La fumée très-épaisse au « repos, » dit-il, « cessait presque immédiatement ou diminuait beaucoup, dès que la machine se mettait en marche. » La production de la fumée au repos n'avait d'ailleurs rien que de tout simple, la machine n'étant pas, dans l'origine, pourvue d'un souffleur ; elle a reçu depuis ce complément indispensable, quel que soit le système adopté.

Il résulte d'ailleurs de la déclaration de M. Baudinot que la modification apportée au foyer de la machine mixte n° 1 n'a nullement réduit sa production. Pendant un service de quinze jours, cette machine a parfaitement franchi, même par des temps défavorables, les rampes de 0,015 qui règnent sur 17 kilomètres, entre Moirans et Rives : résultat tout naturel, au surplus, le bouilleur compensant amplement la réduction qu'a subie, comme surface de chauffe, la paroi d'arrière du foyer. La consommation n'a pas été augmentée, car les allocations sont restées les mêmes, et le mécanicien n'a pas réclamé.

(*) Ainsi qu'on le verra plus bas (page 58), le Midi emploie la houille en proportion plus grande encore, mais c'est surtout du charbon de Cardiff.

L'expérience a dû être interrompue presque dès le début ; les consoles qui supportent le bas du bouilleur ont ébranlé les entretoises des parois du foyer sur lesquelles elles sont fixées, et des fuites se sont manifestées. Mais il n'y a là qu'un vice de construction auquel il sera facile de remédier, et qui n'affecte en rien la disposition elle-même.

Mais, tout en reconnaissant qu'en pareille matière l'expérience doit prononcer et qu'elle paraît l'avoir fait déjà dans un sens favorable, on doit se demander si le système Fontenay constitue un perfectionnement; s'il présente, sur le système Tenbrinck, par exemple, quelque avantage de simplicité, d'économie, d'efficacité, s'il peut même soutenir la comparaison avec lui.

Le doute ne me paraît guère possible.

Ces systèmes ont deux points communs: l'inclinaison de la grille, l'addition d'un bouilleur.

Au point de vue de la fumivorité, le bouilleur de M. Fontenay agit, soit en réalisant, dans une certaine mesure, la combustion *à flamme renversée*, soit à titre d'*auvent*, comme les diaphragmes appliqués en Écosse, en Hollande, essayés sur le chemin de fer du Midi, etc. L'auteur répudie même presque entièrement le second rôle pour son bouilleur. « .... Le combustible, » dit-il dans une note autographiée, « est introduit, comme dans toutes les ma-« chines, par la porte, qui sert aussi, *au besoin*, *mais très-rare-« ment*, à l'introduction d'une petite quantité d'air destinée à faci-« liter la combustion. » C'est, à coup sûr, faire beaucoup trop bon marché d'une des conditions les plus essentielles de la suppression de la fumée, dès qu'il s'agit d'un charbon vraiment fumeux. En acceptant franchement cette condition, en appliquant à son appareil un moyen très-simple de régler l'admission d'air, et cela indépendamment du chargement de combustible, M. Tenbrinck me paraît avoir très-bien discerné un des principaux éléments de succès.

J'en dirai autant de la disposition qu'il a donnée à son bouilleur. Ce bouilleur crée pour ainsi dire un conflit entre les courants qui doivent se mêler; il fait naître des remous très-favorables à leur mélange, il les force à suivre un parcours long et tortueux, et garantit ainsi leur combinaison.

Je ne conteste nullement au système de M. Fontenay une certaine efficacité; mais ce que je ne mets pas non plus en doute, c'est que l'appareil Tenbrinck est bien plus efficace encore; et je n'aperçois d'ailleurs aucun motif, tiré soit de l'appropriation, soit de la mise en œuvre, qui soit de nature à faire pencher la balance

en faveur du premier. Il sera, toutefois, intéressant de soumettre les deux appareils à un examen comparé dans des conditions identiques.

V. RÉSEAU D'ORLÉANS.

Par son étendue, par la situation topographique de ses diverses ramifications, le réseau d'Orléans se trouve dès à présent appelé à consommer des charbons d'origines très-diverses.

Suivant l'usage presque général, il fait la traction des voyageurs au coke, et celle des marchandises au charbon cru. La ligne de Montauban à Rodez, isolée jusqu'à présent du réseau, et qui faisait seule exception, est rentrée récemment dans les conditions ordinaires, en vertu d'une décision ministérielle spéciale. La houille a cessé d'être brûlée dans les machines à voyageurs, ou du moins elle ne l'est plus qu'en très-faible proportion. Ajoutons que cette addition, sans inconvénient d'ailleurs, est parfaitement justifiée par la difficulté du profil.

Coke. — Le coke provient : 1° de Belgique; 2° de Carmaux (Tarn); 3° de Nantes et de Bordeaux, où il est fabriqué dans les fours de la Compagnie avec des charbons du pays de Galles : c'est du *coffyn* tout-venant, dont on sépare les gros morceaux, qui sont employés crus.

Le coke belge coûte : en Belgique. . . 23 fr. 50 la tonne;
rendu à Paris. . . 36 fr. 95.

Il contient en moyenne 6 p. 100 de cendres.

Le coke de Carmaux coûte à l'usine. . . 28 fr. la tonne,
rendu à Bordeaux. . . 42.

Teneur en cendres, 7 p. 100.

Le coke fabriqué à Nantes et à Bordeaux avec les mêmes charbons revient, suivant le cours du fret, de 40 à 45 fr., et contient en moyenne 5 p. 100 de cendres.

La consommation totale sera pour l'année courante de 37.000 à 38.000 tonnes.

Houille (*). — Les houilles brûlées dans les locomotives proviennent de Belgique, d'Angleterre, de Bézenet (Allier) et d'Aubin (Aveyron).

(*) Voir la note E.

1° *Belgique* : houille grasse (gaillette) du bassin de Mons.

Prix à la mine. . . . . 20 fr.
Prix rendu à Paris. 34

Proportion des matières volatiles, 28 p. 100.

id. Cendres, 3,5 p. 100 en moyenne.

Ce charbon n'est employé que sur la section de Paris à Orléans.

2° *Angleterre :* houille demi-grasse du pays de Galles. (C'est la gaillette extraite, comme on l'a dit, du *coffyn* tout-venant).

Prix à Saint-Nazaire ou à Bordeaux 35 fr.
Matières volatiles. . . . . 25 p. 100.
Cendres. . . . . 3 à 3,5 p. 100.

Ce charbon est employé sur les sections suivantes : Tours à Saint-Nazaire, Tours à Bordeaux, Poitiers à la Rochelle, Coutras à Brives.

3° *Bézenet* (gaillette) :

Prix à la mine, chargée sur wagons, 16 fr.
Matières volatiles. . . . . 38 p. 100.
Cendres. . . . . 12 p. 100.

En usage sur les sections d'Orléans au Guetin, de Vierzon à Limoges et de Montluçon à Moulins.

4° *Aubin* (gaillette) :

Prix à la mine. . . . . 16 fr.
Matières volatiles. . . . . 40,5 p. 100.
Cendres. 11,5 p. 100.

Section de Montauban à Rodez.

La consommation totale de ces diverses houilles s'élèvera, en 1861, à 39.000 ou 40.000 tonnes.

Briquettes. — Les briquettes sont tirées de Charleroi et d'Angleterre.

Les premières coûtent, à Charleroi. . . . . 15 fr.
Id. rendues à Paris. . . . . 29 fr. 50.
Matières volatiles. . . . . 18 p. 100.
Cendres. . . . . 7 p. 100.
Brai et goudron. . . . . 8 p. 100.

Les secondes, fabriquées à Cardiff, coûtent, rendues à Bordeaux ou à la Rochelle. . . . . 31 fr. 50.

Matières volatiles.	16,5 p. 100.
Cendres.	7 p. 100.
Brai et goudron.	8 p. 100.

Consommation d'agglomérés en 1861, 15.000 à 16.000 tonnes.

Les houilles et les briquettes dont il s'agit donnent généralement une cendre peu fusible, mais sans qu'il en résulte d'inconvénients pour le service, tant que la proportion ne dépasse pas 7 p. 100.

Grâce aux précautions prises sur le réseau d'Orléans comme sur la plupart des autres, et notamment à l'emploi des souffleurs, les houilles étrangères dont on fait usage produisent généralement assez peu de fumée. La briquette formée des mêmes charbons en dégage un peu plus; mais les houilles indigènes en produisent beaucoup. Sous ce rapport comme sous tous les autres, les charbons de Bézenet et d'Aubin sont à peu près identiques. Avec les autres, la fumée pourrait probablement être rendue inoffensive même dans les foyers ordinaires; mais avec les charbons de ces deux provenances, il est très-douteux qu'on réussît jamais à la rendre même tolérable.

On conçoit dès lors que le chemin d'Orléans soit depuis longtemps à l'affût, pour ainsi dire, d'une disposition de foyer à la fois fumivore et pratique. Il n'a rien fait tant qu'il n'y avait rien à faire, au moins avec des chances sérieuses de succès. Mais le jour où s'est présentée une disposition simple, bien conçue, capable d'affranchir la traction non-seulement de l'emploi du coke, mais peut-être même de l'emploi du gros, ce jour-là, le chemin d'Orléans a pris résolûment son parti. De tous les grands réseaux en effet, sans excepter celui de l'Est, c'est le réseau d'Orléans qui entre le plus largement et de beaucoup, dans la voie de l'application du système Tenbrinck. Il n'a encore en ce moment qu'une machine en service (n° 165, du dépôt de Paris), mais plusieurs autres sont prêtes, d'autres en construction, et un plus grand nombre sur le point d'être mises en chantier, savoir :

1° *Prêtes* : 5 machines à voyageurs (n°s 66 et et suivants) modifiées aux ateliers d'Ivry.

2° *En construction* : 1. Machines à voyageurs (n°s 239 à 258) aux ateliers d'Ivry.

2. Machines à voyageurs (n°s 99 et suivants) à transformer en mixtes. 10 foyers sont en construction à Ivry. Ils ne seront appliqués à cette série qu'au fur et à mesure du remplacement des foyers.

3. Machines mixtes (n°s 566 et suivants) du réseau central, 3 en chantier à Ivry et à Viviers.

4. 13 machines à marchandises à 8 roues couplées et à foyer de 1m,65 de long, en construction chez MM. Cail et compagnie.

Machines en construction, total : 43.

3° *Commandées* : 3 autres machines de la série 566 à 591, et 40 machines à marchandises à construire en 1862.

La transformation des séries 66 à 98, 99 à 124, 566 à 591 sera successivement complétée.

On ne saurait s'exécuter avec plus de décision. Il est presque inutile, du reste, d'ajouter qu'en agissant ainsi, le chemin de fer d'Orléans ne s'est pas préoccupé seulement de supprimer la fumée, de légitimer pour ainsi dire et d'étendre l'emploi du gros et de l'aggloméré. De même que le chemin de l'Est, il vise plus loin, c'est-à-dire à l'emploi du *tout-venant*. Les faits exposés dans ce rapport prouvent que sa confiance est fondée. Tout indique qu'avant peu le chemin d'Orléans pourra, sans que l'Administration ait à intervenir, alimenter ses locomotives comme bon lui semblera, aussi bien celles à voyageurs que celles à marchandises, aussi bien avec les charbons si fumeux de Bézenet et d'Aubin qu'avec le coke, et, qui plus est, aussi bien avec le tout-venant qu'avec le gros.

VI. RÉSEAU DU MIDI.

Compris dans l'espace qui s'étend des lignes méridionales des réseaux d'Orléans et de Lyon au littoral, ce réseau participe, pour ce qui concerne l'approvisionnement des combustibles, aux conditions dans lesquelles se trouvent les deux autres et surtout le premier.

La ligne du Midi est, de toutes, celle qui fait proportionnellement le plus grand usage des charbons crus. Ils entrent pour près des 4/5 dans la consommation totale des locomotives.

Le combustible livré aux machines à voyageurs comprend en général 1/3 seulement de coke et 2/3 de houille. C'est, il est vrai, de la houille maigre de Cardiff qui est, comme on sait, très-peu fumeuse.

1° *Coke.* — Le coke est tiré de Garmaux : il est bon, quoique médiocrement pur; la proportion de cendres peut, aux termes du marché, s'élever à 9 p. 100, mais elle n'atteint pas ce chiffre. Ce coke coûte 34 fr. rendu à Montauban. Celui de la Grand-Combe, plus impur encore, et qui coûte 35 francs rendu à Cette, n'est point en usage sur la ligne du Midi.

On a consommé, en 1860, 10.580 tonnes de coke.

2° *Houille.* — La houille provient :

1° Comme je l'ai dit, de Cardiff; elle coûte 29f,50 à Bordeaux, et contient 29 p. 100 de menu au plus;

2° De la Grand-Combe : prix à Cette 24 francs;

3° De Graissessac : prix à Espare ou à Estrechoux, 16f,50; maximum de menu, 22 p. 100;

4° D'Aubin : prix à Montauban, 21f,50; maximum de menu, 10 p. 100.

Houille consommée en 1860, 35.600 tonnes.

Le *tout-venant* a été employé pendant un certain temps, même celui de Graissessac, malgré la proportion considérable de menu qu'il renferme. On recommandait aux mécaniciens : 1° de répandre ce menu, en couches minces, sur une épaisseur assez grande de gros charbon incandescent; 2° de l'utiliser pour couvrir et entretenir le feu pendant les longs stationnements. Quelques mécaniciens réussissaient ainsi à brûler tout le menu, sans que la consommation fût plus grande qu'avec le gros seul. Mais le plus grand nombre n'y pouvant parvenir, on a renoncé au *tout-venant* pour s'arrêter à un terme moyen. Le charbon livré par les mines est criblé sur une grille quadrillée, à mailles de 0m,01 de côté, tandis que pour déterminer la proportion du menu, on se sert d'une grille à mailles de 0m,03; tout ce qui traverse cette grille est considéré comme *menu* et ne doit pas excéder les proportions indiquées plus haut; tout ce qui traverse la première est considéré comme *poussier*, et les mécaniciens sont dispensés de l'employer. On l'utilise pour la fabrication des briquettes.

Le tout-venant de Graissessac, qui donne 22 p. 100 sous la grille de 0,03, donne 8 p. 100 sous la grille de 0,01. Les locomotives brûlent donc 92 p. 100 du *tout-venant*.

3° *Aggloméré.* — Il est tiré : 1° de Carmaux (sphérique); 2° de Graissessac. Le premier coûte 24f,50 rendu à Montauban; et le second 16f,50, à Espare ou à Montauban.

Quantité consommée en 1860, 1940 tonnes (*).

(*) Un appareil installé dans la gare de Bordeaux pour la fabrication des agglo-

En développant ainsi la consommation de la houille, les ingénieurs ont fait, et non sans succès, tous leurs efforts pour atténuer les inconvénients de la fumée. Justement convaincus de l'insuffisance des dispositions diverses essayées sous leurs yeux en Angleterre (dispositions efficaces peut-être avec certains charbons, mais nullement avec plusieurs de ceux que le chemin du Midi met en œuvre), ils se sont attachés, faute de mieux, à tirer le meilleur parti possible du foyer ordinaire; ils ont réussi, par des soins minutieux, à réduire l'emploi du coke au 1/5 environ de la consommation totale, et cela sans provoquer, je ne dirai pas une seule plainte, ce serait aller trop loin, mais des protestations sérieuses et pressantes. Il est vrai que la majeure partie de la houille est du Cardiff, et que les charbons français beaucoup plus fumeux, celui d'Aubin surtout, sont exclusivement réservés pour les machines à marchandises. Pour le dernier notamment, il faut bien reconnaître que tous les efforts ont été à peu près impuissants et qu'une solution radicale est de toute nécessité. Il en est de même, quoique à un degré moindre, pour le charbon de Graisssesac (*). Sans cet obstacle, les deux bassins dont il s'agit seraient naturellement appelés, par leur situation, à concourir pour une large part à l'approvisionnement du chemin du Midi. Il est donc fort intéressé à ce que cet obstacle disparaisse, et à appliquer sans délai une disposition qui atteint ce but.

Chemin de Ceinture.

Cette petite ligne offre l'exemple unique d'un chemin sur lequel il n'y a jusqu'à ce jour, qu'un trafic de marchandises et sur lequel pourtant le coke est exclusivement employé, ou l'était du moins jusqu'à l'époque toute récente où le chemin de l'Est a remis la traction au chemin du Nord. Une décision ministérielle, en date du 19 juin 1857, l'a formellement exceptée de la tolérance provisoirement accordée aux autres.

«..... Depuis que cette mesure (l'emploi de la houille dans les

---

mérés sphériques, et qui n'appartenait pas à la compagnie, a cessé de fonctionner: cette circonstance a restreint l'emploi des briquettes. Une machine nouvelle vient d'être commandée à M. Voruz de Nantes.

(*) «... Les mécaniciens, » dit M. l'ingénieur en chef Duvignaud, chargé du contrôle, « brûlent la houille de Cardiff, non sans faire de fumée, mais sans en faire « assez pour incommoder les voyageurs. Avec la houille d'Aubin, *ils font toujours une fumée insupportable*. Avec la houille de Graissessac, ils en font moins, « mais assez cependant pour qu'elle soit incommode. »

« trains de marchandises) » dit la décision précitée « a été tolérée « par l'administration, peu de réclamations se sont produites, parce « que les centres de population à proximité des stations sont rares « et peu importants. Il n'en est pas de même pour le chemin de « ceinture qui, sur tout son parcours, traverse la banlieue de Paris, « où les populations sont extrêmement agglomérées, et il y aurait « de véritables inconvénients et peut-être même du danger à se « départir, pour cette ligne, de l'exécution rigoureuse des disposi- « tions qui stipulent que les chemins de fer devront consumer leur « fumée. »

L'annexion de la banlieue plaçant le chemin de ceinture entièrement *intra muros*, est venue plus tard à l'appui de ces motifs. D'un autre côté cependant, les charbons employés par le chemin du Nord sont beaucoup moins fumeux que ceux de Saarbrücke, dont son prédécesseur sur le chemin de ceinture faisait usage, et les progrès réalisés depuis 1859 ont d'ailleurs bien changé l'état de la question.

Il ne s'agit pas, au surplus, de revenir sur l'interdiction de la fumée, justement appliquée au chemin de ceinture; mais l'interdiction de l'emploi de la houille cesse d'être motivée, si la houille peut être brûlée sans fumée; et le chemin de ceinture devra, comme les grandes lignes dont il est le trait d'union, profiter du progrès acquis.

VII. CONCLUSION.

Les faits qui précèdent établissent, ce me semble, que le moment est venu d'assigner un terme à la grande expérience qui se poursuit depuis plusieurs années.

Il faut sans doute y regarder à deux fois, en pareille matière, avant d'affirmer qu'un problème est résolu. L'histoire de toutes les industries, celle des chemins de fer en particulier, est remplie de ces solutions affirmées un jour sur la foi de quelques essais et démenties ensuite, un peu plus tôt ou un peu plus tard, par l'expérience. Mais s'il est sage de douter longtemps, il ne faut pas douter toujours et nier l'évidence. Si une expérience aussi prolongée, faite dans des conditions aussi variées que celle dont j'ai rendu

compte, n'est pas concluante, quelle est celle qui méritera ce titre (*) ?

On peut dire que, pour entrer franchement dans la voie de la suppression de la fumée, et se mettre en mesure de la réaliser prochainement, les compagnies n'attendent plus qu'une chose : une mise en demeure de l'Administration supérieure.

L'injonction adressée aux compagnies pourrait être formulée à peu près ainsi :

« A partir du   la fumée des locomotives en « marche ou en stationnement, est interdite, chacun étant « libre du choix du moyen, pourvu qu'il atteigne le « but. »

Il est évident d'ailleurs qu'un délai assez prolongé serait nécessaire ; la transformation d'un foyer ordinaire en foyer Tenbrinck, par exemple, est assez coûteuse et assez longue, et une telle opération, étendue à une fraction considérable de l'effectif, devrait nécessairement être répartie sur plusieurs exercices.

Cette transformation coûte 2.500 francs environ, dépense qui, au surplus, sera rapidement couverte par l'économie de combustible, soit qu'on substitue le gros au coke ou le tout-venant au gros (**).

(*) Voir la note F.

(**) Voici les prix de la transformation des 5 machines en service sur le chemin de l'Est :

Nos 91	4.875 francs (*).
0,114	2.684
16	2.199
21	2.190
196	2.595

Ces chiffres ne comprennent pas les frais généraux.

(*) Cette machine, la première qui ait été transformée, a subi de nombreux remaniements.

Mais il importe, d'un autre côté, de remarquer qu'en matière de délais, il faut se garder d'exagérer. Il y a toujours une première période pendant laquelle on ne fait absolument rien, et cette période est d'autant plus longue que le délai lui-même est plus long.

L'interdiction de la fumée des locomotives pourrait, selon moi, dater du 1er janvier 1866, sans préjudice d'ailleurs des mesures à prendre pour utiliser plus complétement dès à présent les palliatifs dont on dispose, et notamment le souffleur. Les compagnies qui ne se seraient pas mises en mesure à cette époque, en seraient quittes alors pour ne plus brûler de houille, de houille fumeuse, du moins, et elles l'auraient voulu. Mais aucune, à coup sûr, ne se mettra dans cette situation.

L'Administration ne repousserait pas d'ailleurs les demandes de prolongation de délai fondées sur des motifs valables. Mais, je le répète, une échéance trop éloignée à des inconvénients; dans le début, elle est trop lointaine pour qu'on s'en préoccupe, et quand le terme se rapproche, on l'a oublié.

COUCHE.

Paris, le 20 janvier 1862.

NOTES.

Note A (page 9).

Sur les dispositions essayées en Angleterre et en Allemagne pour atténuer la fumée produite par les locomotives.

1° En Angleterre.

On trouve dans l'ouvrage publié par M. D. K. Clark sous ce titre: *Recent practise on the locomotive engine* (1860), une description complète des divers procédés essayés en Angleterre; celui auquel l'auteur donne la préférence consiste simplement dans une admission directe de l'air au-dessus du combustible, mais cette admission est opérée d'une façon particulière. Un petit jet de vapeur, emprunté à la chaudière, peut être à volonté injecté dans chacune des entretoises creuses qui établissent la communication directe entre le foyer et l'extérieur. Les entretoises étaient d'abord placées sur les faces latérales, mais on préfère aujourd'hui les placer sur les faces d'avant et d'arrière (Pl. I, *fig.* 13 et 14); elles ont environ 5 centimètres de diamètre intérieur; l'injection de vapeur s'opère par une petite tuyère de 1^{mm},6 de diamètre.

L'action de la vapeur est purement mécanique; elle est introduite en trop petite quantité pour jouer chimiquement un rôle notable. Mais cette action est très-favorable, non-seulement à l'appel de l'air (appel qu'on règle d'ailleurs à volonté au moyen du robinet P), mais aussi à son mélange avec les produits de la distillation.

D'après M. Clark, cette disposition donne de très-bons résultats sur plusieurs lignes du nord de l'Angleterre et de l'Écosse. Mais il faut remarquer que l'idée première ou au moins le mode d'exécution appartient à M. Clark lui-même, dont la prédilection pour ce système est dès lors toute naturelle. Après avoir exposé, d'ailleurs, et sa conviction et les observations sur lesquelles elleest fondée, M. Clark n'hésite pas à reconnaître que cette conviction ne s'est point encore généralisée, et il le fait en termes qui méritent d'être

cités textuellement, car ils peignent bien l'état de la question en Angleterre.

Après avoir constaté que, dans le nord de l'Angleterre et dans le sud de l'Écosse, on se contente généralement d'admettre l'air par la porte en le rabattant au moyen d'un auvent, et avoir fait remarquer que cet expédient s'est répandu autant sans doute à cause de sa simplicité qu'à cause d'une certaine efficacité qu'on ne saurait lui refuser, il ajoute (*) : « But it is remarkable, notwithstanding the degree of « skill and apparent success with which the « shovel » is worked, « and the satisfaction with which its performance is regarded by « those who use it, *that the railway-smoke nuisance is becoming* « *a very serious annoyance to the public*, *and that examples are* « *now becoming frequent of the public taking the matter into their* « *own hands, judging for themselves*, *and trying it at law. — The* « *efficient and perfect use of coal in locomotives is not yet attained,* « *the practise generally is in a state of transition...* »

2° En Allemagne.

L'emploi des charbons crus — houilles et lignites — n'est nulle part aussi répandu que sur les chemins de fer allemands; mais quoique le problème de la suppression de la fumée ait été abordé sur un assez grand nombre de lignes, ces essais, faits en général avec peu de suite, sont restés à peu près sans résultat, et, sauf le souffleur adopté presque partout, on ne prend guère de mesures contre la fumée, acceptée le plus souvent comme un mal nécessaire, et d'ailleurs tolérable.

On a appliqué cependant : 1° *sur le chemin de Berlin à Potsdam-Magdebourg et Halberstadt*, l'admission d'air par des entretoises creuses, combinée avec l'addition,— supprimée depuis,— d'un auvent *sous* les tubes; 2° *sur le chemin de Berlin à Hambourg*, l'appareil anglais de Jenkins, pour l'emploi des houilles de la Haute-Silésie; 3° *sur le chemin de la Haute-Silésie* (Stargard à Posen) l'appareil *Stössger*, dont voici le principe : l'introduction directe de l'air au-dessus du combustible s'opère au moyen d'une caisse en fonte pourvue d'un clapet, suspendue sous la grille, et se raccordant avec un manchon vertical très-épais en argile réfractaire; ce manchon traverse en leur centre la grille et le combustible, et est surmonté d'une calotte sphérique qui rabat l'air autour de lui. On est, à ce qu'il paraît, assez content de cet appareil, qui a cependant deux

---

(*) Page 76 (*Post-scriptum*).

inconvénients : il est gênant pour la conduite du feu, et il réduit d'un dixième environ la surface de la grille. Sur le chemin de *Berlin-Anhalt*, on applique l'admission de l'air à l'avant et à l'arrière du foyer, combinée avec un masque vertical en maçonnerie placé devant les tubes et percé de trous. Une partie du courant gazeux traverse ces ouvertures, le reste passe par-dessus le diaphragme.

Sur un petit nombre de lignes, le coke est employé seul pour les trains directs de voyageurs : tels sont les chemins de *Magdebourg à Wittenberg*, de *Saarbrücke*, de l'*Est*, de *Breslau-Schweidnitz-Fribourg*, etc.

Sur beaucoup d'autres (*Aix à Maëstricht*, *Rhénan*, *Cologne à Minden*, *Berlin-Anhalt*, *Magdebourg à Leipzig*, etc.), la traction des voyageurs est faite avec un mélange en proportion variable de houille et de coke.

— Sur d'autres (*Aix-Dusseldorf-Ruhrort*, *Berg et de la Marche*, *Thuringe*, — *Oppeln à Tarnowitz*, etc.), on ne brûle que de la houille, et même sur les deux premiers, à l'état de *tout-venant*. Les charbons en usage sur le chemin de la Thuringe sont ceux de Westphalie et de Zwickau ; celui-ci surtout est excessivement fumeux (*).

Par une circulaire en date du 12 octobre 1860, M. le ministre du commerce et des travaux publics de Prusse a appelé l'attention des directions de chemins de fer sur les avantages de l'emploi de la houille. Il me paraît utile de placer ici la traduction de ce document officiel, remarquable à coup sûr. Le ministre ne se borne pas, en effet, à admettre l'emploi de la houille, il engage formellement les directeurs de chemins de fer *à renoncer au coke*.

« Je joins à la présente la récapitulation des résultats obtenus « pendant les deux dernières années par l'emploi de la houille, du « lignite, et de la tourbe dans les locomotives. En présence de ces « résultats, on ne saurait mettre en doute l'inutilité complète du « coke pour le chauffage des locomotives. La houille a présenté une « économie considérable qui peut, en moyenne générale, s'évaluer « par la différence des prix élémentaires, les consommations en « poids étant les mêmes. La crainte d'une détérioration plus prompte « des parties de la chaudière en contact avec le feu ne s'est nulle- « ment réalisée. D'un autre côté, l'expérience acquise par les mé- « caniciens, les mesures prises pour les intéresser à développer

(*) Le *Zeitschrift für Bauwesen* publié, à Berlin, par M. *Erbkam*, a donné sur l'emploi de la houille en Prusse des détails intéressants. (Année 1861, page 259.)

« l'application des charbons crus, et quelques dispositions maté-
« rielles très-simples ont suffi pour atténuer, sinon pour supprimer
« complétement la fumée incommode dégagée par les charbons de
« plusieurs districts. Parmi ces dispositions, il convient de citer en
« première ligne celle qui réalise l'introduction dans le foyer d'une
« proportion convenable d'air fortement échauffé, ainsi que le souf-
« fleur *Chobrzinski* qui permet d'entretenir un tirage assez actif
« pendant les stationnements et après les chargements du foyer. —
« Le souffleur est également très-utile pour l'allumage et la mise en
« vapeur. J'engage en conséquence les Directions Royales : 1° à
« s'abstenir désormais d'employer le coke pour le chauffage des lo-
« comotives, sauf le cas de certains charbons menus exigeant soit le
« mélange du coke pour rendre la couche combustible perméable à
« l'air, soit son usage exclusif pour l'allumage ; 2° à appliquer le
« souffleur à toute locomotive brûlant du charbon cru ; 3° à porter
« toute leur attention sur les moyens de supprimer la fumée. »

Berlin, 12 octobre 1860.

*Le ministre du commerce, de l'industrie
et des travaux publics.*

Aux directions de chemins de fer.

Note B (page 39).

Sur la proportion de cendres dans les houilles consommées par le chemin de l'Est.

Cette teneur moyenne est difficile à établir rigoureusement, parce que la proportion des schistes est extrêmement variable. La teneur totale varie donc d'une période à l'autre ainsi qu'on le constate parfaitement dans le service, mais sans qu'on ait d'ailleurs la mesure exacte de ces écarts. On sait mieux où l'on en est pour la houille de Duttweiler employée pour la fabrication du coke, et dès lors lavée ; elle abandonne au lavage 7 à 8 p. 100 de schistes. Il y a tout lieu de croire que la proportion est, en moyenne, au moins aussi élevée pour les houilles de *Von der Heydt* et de *Louisenthal* brûlées en nature, et la proportion intimement mélangée, incorporée au charbon, ne paraît pas inférieure à 8 p. 100. — Une incinération faite, il y a quelques jours, d'un morceau de charbon de *Von der Heydt* n'a donné, il est vrai, que 5 p. 100 de cendres, mais on regarde comme évident qu'il s'agissait d'un fragment d'une pureté tout à fait exceptionnelle.

NOTE C (page 45).

Chemins de fer de l'Est.

Allocations de combustible à partir du 1er novembre 1861.

DÉPOTS.	Désignation des machines. — A. CRAMPTON. — coke.	ROUES LIBRES. — coke.	MIXTES. coke.	MIXTES. houille.	MARCHANDISES. à 6 roues couplées — houille.	MARCHANDISES. à 8 roues couplées — houille.	Observations
Paris	10,25	9,00	11,00	13,50	19,00	»	(a)
Epernay, Reims	10,25	9,00	10,50	13,00	18,00	»	
Châlons, Mourmelon	»	»	11,00	13,50	»	»	
Bar-le-Duc. Lerouville	»	»	13,00	16,00	»	»	
Nancy, Epinal	10,00	9,00	10,50	13,00	18,00	23,00	(b)
Montigny	»	8,75	11,00	14,00	19,00	»	
Forbach	»	»	»	»	19,00	23,00	
Strasbourg	9,50	8,75	10,50	13,00	16,00	»	(c)
Id.	»	»	»	»	16,50	»	(d)
Mulhouse	»	8,50	10,50	13,00	18,50	»	
Id.	»	8,00	»	»	»	»	(e)
Troyes	»	9,25	10,50	13,00	19,00	»	
Chaumont et Blesme	»	8,25	10,00	12,25	18,00	»	
Gray	»	8,25	10,00	12,00	18,00	»	
Flamboin. sur Montereau	»	7,75	9,25	11,00	»	»	(f)
Flamboin. sur Provins	»	8,25	10,00	12,50	»	»	(g)

B. . . . . Machines mixtes faisant les trains de marchandises :

»	»	13,00	16,00	»	»

C. . . . . Machine en double traction :

1 kilogramme de moins que l'allocation pour Trains.

D. . . . . Machines haut-le-pied ou accouplées comme aide :

6,00	5,00	7,00	9,00	11,00	13,00

E. . . . . Machine par heure de manœuvre (6 kilomètres) :

60,00	55,00	65,00	80,00	110,00	120,00

F. . . . . Machines par heure de stationnement :

12,00	12,00	16,00	20,00	25,00	30,00

G. . . . . Machines spéciales pour les manœuvres de gare :

La Villette. . . . . Comme les machines à marchandises ordinaires.

Dans les autres dépôts. . . { Par heure de manœuvre, coke, 65,00 ; houille 80 kil. *Id.* de stationnement, coke, 12,00 ; houille 15 kil. }

Machines fumivores.

Houille tout-venant. { A voyageurs. . . 10,00 ; Mixtes. . . . . . 13,00 } par kilom.

(a) 1 kilog. de moins pour le coke du gaz de Paris. — (b) Machines 0,261 à 0,277, 19 kil. — (c) Machines 0,1 à 0,32, 223 à 242. — (d) Machines 0,33 à 0,62. — (e) Machines de Bâle, nos 264 à 287. — (f) Anciennes machines de Troyes. — (g) Machines Cail.

Une allocation supplémentaire de 2 kilogrammes par kilomètre sera accordée aux machines des trains express et postes entre Paris et Strasbourg, chaque fois que la composition de ces trains dépassera 10 véhicules; et une allocation de 1k,50 aux machines des trains postes et directs de Paris à Mulhouse chaque fois que la composition de ces trains dépassera 9 véhicules.

A la liquidation trimestrielle des primes, il sera accordé un kilogramme de tolérance avant d'opérer la retenue pour excédant de consommation sur les allocations fixées ci-dessus.

Allocations de combustible à partir du 1er mars 1862 (*).

DÉPOTS.	Désignation des machines. — A. Crampton. — coke.	Roues libres. — coke.	Mixtes. coke.	Mixtes. houille.	Marchandises. à 6 roues couplées — houille.	Marchandises. à 8 roues couplées — houille.	Observations.
Paris.	9,00	8,25	10,00	12,50	17,00	»	(a)
Epernay, Reims.	»	»	9,50	12,00	16,00	»	
Châlon, Mourmelon.	»	»	8,50	10,50	»	»	
Bar-le-Duc. Lerouville.	»	»	10,50	13,00	»		
Nancy, Epinal.	9,25	8,25	9,50	12,00	16,00	20,50	(b)
Montigny.	»	8,25	9,75	12,25	18,00	»	
Forbach	»	»	»	»	16,50	20,50	
Strasbourg.	8,75	8,25	9,50	12,00	14,00	»	(c)
Id.	»	»	»	»	»	»	(d)
Mulhouse.	»	7,75	9,50	12,00	16,00	»	
Id.	»	7,50	»	»	»	»	(e)
Troyes.	»	8,50	9,50	12,00	17,50	»	(f)
Chaumont.	»	7,50	8,50	10,50	17,00	»	
Gray.	»	7,50	8,50	10,50	17,00	»	
Flamboin.	»	»	9,50	12,00	»	»	(g)
Id. sous Montereau.	»	7,50	8,50	»	»	»	(h)
Id. sur Provins.	»	8,00	8,75	»	»	»	
B. .... Machines mixtes faisant les trains de marchandises :	»	»	11,00	44,00	»	»	
C. .... Machines en double traction : 1 kilogramme de moins que l'allocation pour trains.							
D. .... Machines haut-le-pied ou accouplées comme aide :	5,50	5,50	6,00	7,50	9,00	11,00	
E. .... Machines par heure de manœuvre (6 kilomètres) :	50,00	50,00	60.00	75,00	100,00	120,00	
F. .... Machines par heure de stationnement :	12,00	12,00	16,00	20,00	25,00	30,00	

(a) 1 k. de moins pour le coke du gaz de Paris. — (b) Machines 0,251 à 0,277=17 k. — (c) Machines 0,1 à 0,32. — (d) Machines 0,33 à 0,62, 233 à 242. — (e) Machines de Bâle nos 264 à 287. — (f) 1 kil. de moins pour le coke du gaz de Paris. — (g) Machines mixtes Cail. — (h) Anciennes machines de Montereau à Troyes.

(*) Les allocations en bonne saison ont été réglées depuis la rédaction et la publication séparée du rapport adressé au ministre. Ce second tableau ne faisait donc pas partie des annexes du rapport; mais il a paru utile de le joindre au premier.

Suite du tableau précédent.

		Coke.	Houille.
G. . . . . Machines spéciales pour les manœuvres de gare.			
La Villette.	Par heure de manœuvres.	80 k	100 k
	— de stationnement.	20	25
Dans les autres dépôts . .	Par heure de manœuvres.	60	75
	— de stationnement.	12	15
Machines fumivores.			
Houille tout-venant. . . .	A voyageurs.	8	»
	Mixtes.	12	»

Une allocation supplémentaire sera accordée aux machines des trains express et postes, entre Paris et Strasbourg en entre Paris et Mulhouse, ainsi qu'aux trains de voyageurs remorqués par des machines mixtes dans les circonstances ci-dessous:

1° *Trains-postes et express de Paris à Strasbourg :*

1 kilogramme en sus quand la charge sera de 11 à 12 voitures.
2 kilogrammes en sus quand la charge dépassera 12 voitures.

2° *Trains-poste et directs de Paris à Mulhouse :*

1 kilogramme en sus quand la charge sera de 9 à 10 voitures
2 kilogrammes en sus quand la charge sera 10 voitures.

3° *Machines-mixtes de trains de voyageurs :*

1 kilogramme quand la charge sera de 19 à 21 voitures.
2 kilogrammes quand la charge dépassera 21 voitures.

A la liquidation trimestrielle des primes, il sera accordé un kilogramme de tolérance avant d'opérer la retenue pour excédant de consommation sur les allocations fixées ci-dessus.

NOTE D (page 51).

Sur le mélange de la houille et du coke.

Cet emploi simultané de la houille et du coke est généralement condamné en Angleterre, comme contraire aux règles qui assurent une combustion complète. On retrouve, dans diverses publications, l'expression de la même opinion, mais sans aucun motif plausible à l'appui. Cette pratique est, comme on l'a vu, très-répandue en France et en Allemagne, et elle est probablement motivée, sinon dans tous les cas, au moins dans un grand nombre, — et cela indépendamment de la considération déterminante chez nous:

ici, en effet, elle a pour but de faire à la fois la part de l'économie, en réduisant la consommation de coke, et celle des règlements, en évitant de pousser trop loin la proportion de l'élément fumeux.

NOTE E (page 55).

Les charbons cités dans le rapport sont les seuls dont le chemin de fer d'Orléans fasse maintenant usage, Mais il a fait venir, à titre d'essai, en 1859 et 1860, des charbons de plusieurs autres provenances, et dont quelques-uns concourront par la suite à son alimentation. On a déterminé avec soin, pour chacun d'eux, les proportions de cendres et de matières volatiles.

Il ne sera pas inutile de reproduire ici ces résultats. Il serait à désirer que beaucoup de renseignements analogues, recueillis chaque jour par les divers services techniques des chemins de fer, ne restassent pas, comme cela arrive ordinairement, enfouis dans leurs cartons.

Moyennes comparatives des essais faits sur les houilles et les briquettes livrées au chemin de fer d'Orléans pendant les années 1859 *à* 1860.

1° Houilles.

PROVENANCE.	RENDEMENT en cendres.	RENDEMENT en matières volatiles.	Observations.
	p. 100.	p. 100.	
Houille de l'Escouffiaux (Belgique)	3,3	28,4	
— de Gilly (Belgique)	3,4	13,2	
— d'Aubin (Aveyron)	11,6	40,5	
— de Boussu (Belgique)	2,0	33,8	
— de Bezenet (Allier)	12.5	35,1	
— de Doyet (Allier)	17,3	34,1	
— de Firminy (Loire)	7,6	23,1	
— du couchant de Flénu (Belgique)	4,2	40,0	
— de Ferrières (Allier)	14,2	34,6	
— de Montet (Allier)	11,8	20,5	
— de Commentry (Allier)	13,8	36,6	
— de Sainte-Catherine (Belgique)	3,6	20.3	
— de Hornu (Belgique)	2,5	29,2	
— de Longterne-Ferrand (Belgique)	4,8	26,1	
— de Fuller	3,2	23,9	(a)
— de Gelligaled	2,0	21,3	(b)
— d'Ahun (Creuze)	10,7	40,5	
— de Decazeville (Aveyron)	10,5	36,2	

(a) Charbon anglais expédié par M. Larabrie, de Nantes.
(b) Charbon anglais expédié par M. Larabrie, de Nantes.

2° Briquettes.

PROVENANCE.	RENDEMENT en cendres.	RENDEMENT en matières volatiles.	Observations
	p. 100.	p. 100.	
Briquettes Dehaynin père et fils	7,1	16,5	
— Sauvarton (Belgique)	8,0	18,3	
— Warlich (Belgique)	7,7	16,4	
— livrées par Mme veuve Couillard (du Havre)	5,8	16,4	
— Duffry (à Bordeaux)	5,2	19,5	
— d'Ingrandes (Maine-et-Loire) (mines de Sanguin)	10,9	25,2	
— Bailanger	9,9	17,8	
— cylindriques de Brassac	9,3	19,1	
— cylindriques Evrard (Saint-Étienne)	1,5	20,0	

NOTE F (page 61).

Sur le bouilleur du foyer Tenbrinck.

Le bouilleur inspire de la défiance à quelques ingénieurs. Il ne pourra, d'après eux, faire un long service, et il grèvera la machine d'un surcroît de frais d'entretien cousidérable. Comme je l'ai déjà dit, les précédents ne manquent pas, et ils sont parfaitement rassurants. Mais on peut aujourd'hui opposer à ces craintes un argument plus formel, c'est-à-dire l'observation directe : c'est *en durant* que le bouilleur a prouvé qu'il *peut durer*. La machine 91 vient de rentrer aux ateliers (mi-janvier) et d'y subir un examen minutieux. Elle a parcouru, depuis sa transformation, près de 90.000 kilom.; le bouilleur est, ainsi que le foyer, en très-bon état; on ne touchera ni à l'un ni à l'autre.

NOTE

SUR LES TRANSMISSIONS DE MOUVEMENT A L'AIDE DE COURROIES.

Par M. KREST, ingénieur du service central des constructions des tabacs.

On admet en général que, dans toute transmission de mouvement par courroies, la vitesse de l'arbre moteur est transmise à l'arbre conduit dans le rapport inverse du diamètre des poulies, pourvu toutefois que l'on donne à la courroie une tension initiale assez grande pour empêcher le glissement.

Je vais démontrer que cette transmission rigoureuse ne peut jamais exister, qu'il se produit toujours un ralentissement pour l'arbre mené, ralentissement qui, dans beaucoup de circonstances, peut avoir une valeur relative assez considérable pour qu'il soit nécessaire d'y avoir égard dans le calcul des diamètres des poulies.

Considérons une poulie A transmettant le mouvement, à l'aide d'une courroie, à une poulie B montée sur un arbre parallèle à celui de la poulie A; soient R et ω le rayon et la vitesse angulaire de la poulie A, R' et ω' le rayon et la vitesse angulaire de la poulie B; supposons de plus qu'une force F agisse tangentiellement à la poulie B, en sens contraire du mouvement.

Pour que le mouvement uniforme s'établisse, il faut que le brin conduisant de la courroie prenne une tension T et le brin mené une tension t, et que la différence de ces tensions $T-t$ soit égale à F. Or la courroie est composée d'une matière élastique qui ne peut pas passer d'une tension à une autre sans changer de longueur, en sorte que si nous prenons deux points quelconques sur la courroie en mouve-

ment, la distance de ces deux points variera avec la tension à laquelle est soumise cette portion considérée. Quelle que soit la loi de la variation de la tension de la courroie en ses différents points, il est évident que le mouvement de cette courroie a tous les caractères d'un mouvement *permanent*, et que par suite la quantité de matière qui passe aux différents points dans le même temps est la même; il faut pour cela que la *longueur naturelle* de courroie qui passe aux différents points dans le même temps soit constante, en entendant par *longueur naturelle* d'une portion de courroie soumise à une certaine tension la longueur qu'elle aurait si cette tension était nulle. Si donc l est la *longueur géométrique* de courroie à la tension t qui s'enroule dans un temps θ sur la poulie B, il se déroulera de cette poulie, pendant le même temps, une *longueur géométrique* l' de courroie à la tension T, qui sera telle que sa *longueur naturelle* soit la même que celle qui correspond à la portion enroulée l. Il est clair, d'après cela, que, contrairement à ce que l'on admet ordinairement, la longueur géométrique de courroie qui s'enroule sur la poulie dans le temps θ est plus faible que la longueur géométrique qui se déroule dans le même temps, et que, par suite, il se produit forcément sur la poulie B un glissement dans le sens du mouvement.

On reconnaîtra de même que la longueur géométrique de courroie enroulée dans le temps θ par la poulie A est plus grande que la longueur géométrique qui se déroule dans le même temps, et que, par suite, il se produit un glissement de la courroie en sens inverse du mouvement.

Si nous exprimons l'égalité des *longueurs naturelles* de courroie enroulées dans le temps θ par les poulies A et B, nous aurons, en représentant par α l'allongement de l'unité de longueur de courroie sous l'unité de tension :

$$\frac{R\omega\theta}{1+\alpha T}=\frac{R'\omega'\theta}{1+\alpha t},$$

d'où l'on tire

$$\frac{\omega'}{\omega} = \frac{1 + \alpha t}{1 + \alpha T} \cdot \frac{R}{R'}.$$

On voit que le rapport des vitesses est égal au rapport inverse des rayons multiplié par un coefficient qui ne peut devenir égal à l'unité que quand les deux tensions sont égales, c'est-à-dire dans le cas où il n'y a aucun travail à transmettre, ou bien quand la tension initiale est infiniment grande. Il se produit donc toujours un ralentissement, contre lequel le moyen ordinairement employé, c'est-à-dire l'augmentation de la tension initiale, est un remède insuffisant plus nuisible qu'utile, en ce sens qu'il augmente les résistances passives de la transmission. Il est facile de déterminer la valeur moyenne de ce coefficient de ralentissement. J'ai fait une série d'expériences pour déterminer α; j'ai trouvé, en prenant pour unité de longueur le mètre, pour unité de tension le kilogramme $\alpha = \frac{0^{m},16}{S}$ pour des courroies en cuir ordinaire, ayant déjà servi pendant quelque temps, et $\alpha = \frac{0^{m},21}{S}$ pour des courroies neuves, S représentant la section de la courroie en millimètres quarrés.

Dans la pratique, on admet ordinairement qu'une courroie porte 1/4 de kilog. par millimètre quarré de section, c'est-à-dire que l'on a $S = 4T$; on aura donc $\alpha T = \frac{0,16}{4}$ pour les courroies ayant servi, et $\alpha T = \frac{0,21}{4}$ pour les courroies neuves.

Quant à αt, il est égal à $\alpha T \times \frac{t}{T}$. Nous pouvons avoir une valeur approchée de $\frac{t}{T}$; en effet, les courroies sont toujours calculées de façon à ce qu'elles puissent résister à la tension qu'il est nécessaire de leur donner, pour empêcher le glisse-

ment total sur les poulies. Il ne s'agit pas ici du glissement qui se produit forcément par l'allongement de la courroie, ainsi que je l'ai dit plus haut, mais d'un glissement qui se produirait simultanément sur toute la partie enroulée sans entraîner le mouvement de la poulie, et qui est le seul dont on se soit préoccupé jusqu'aujourd'hui. On démontre que, pour qu'il soit impossible, il faut que l'on ait

$$T < te^{f\beta},$$

f étant le coefficient de frottement de la courroie sur la poulie, et β le rapport de l'arc embrassé au rayon. Dans la pratique, on fait ordinairement $T = 0,9 . te^{f\beta}$, relation qui, dans le cas d'une courroie en cuir embrassant la moitié d'une poulie en fonte, devient $T = 2,16t$; pour être sûr de ne pas exagérer l'importance de ralentissement, je prendrai $T = 2t$ d'où $\alpha t = \frac{\alpha T}{2}$.

On trouvera facilement que la valeur moyenne du coefficient $\frac{1 + \alpha t}{1 + \alpha T}$ sera

Pour les courroies ayant servi $\frac{1,0225}{1,045} = 0,978$;

Pour les courroies neuves $\frac{1,0262}{1,0525} = 0,975$.

On voit donc que le ralentissement est d'environ 2 tours pour 100; cet effet peut n'avoir rien de bien fâcheux pour un seul renvoi; mais, dans les usines, on est fort souvent obligé de recourir à un grand nombre de renvois intermédiaires, et l'on obtient ainsi des différences très-notables entre les vitesses réelles et les vitesses sur lesquelles on comptait. On trouvera facilement que, si le coefficient de ralentissement est de 0,98 pour un seul renvoi, il deviendra

égal, pour un plus grand nombre de transmissions, aux puissances successives de 0,98 qui sont sensiblement

0,98..... 0,96..... 0,94..... 0,92..... 0,90;

en sorte qu'après 5 renvois la perte de vitesse est déjà le dixième de la vitesse calculée, et qu'au bout de 34 renvois environ, la vitesse serait réduite à moitié.

J'ai fait un grand nombre d'expériences pour vérifier ces résultats, et j'ai pu constater que, dans tous les cas où les dimensions des courroies ne s'éloignent pas trop de celles qu'indique le calcul, on trouve sensiblement 0,98 pour coefficient.

J'ai du reste cherché à vérifier plus complétement la formule, en faisant varier les tensions d'une même courroie. A cet effet, je me suis servi, au lieu d'une courroie en cuir, d'une bande de caoutchouc vulcanisé, substance pour laquelle α est sensiblement égal à $\frac{S}{1}$, ce qui permet d'avoir des ralentissements très-considérables; cette bande passait sur deux poulies parfaitement égales; un petit frein placé sur l'un des arbres permettait de faire varier la résistance; une série de divisions égales était tracées par la courroie, ce qui permettait d'estimer la tension des deux brins pendant le mouvement; j'ai pu constater ainsi que les faits étaient en parfaite concordance avec la formule.

Il résulte de toutes ces considérations que si l'on veut, à l'aide de courroies en cuir, transmettre des vitesses déterminées, il est prudent d'augmenter d'environ 1/50 le diamètre de toutes les poulies motrices ou de diminuer dans la même proportion le diamètre des roues conduites.

NOTE

SUR L'EXPLOITATION DU SEMMERING.

Par M. DESGRANGES,

Directeur du matériel et de la traction des chemins de fer du sud de l'Autriche.

Locomotives. — Le service sur le Semmering est fait par 32 machines, dont 26 pour les trains de marchandises et 6 pour les trains de voyageurs.

Ces machines avaient été primitivement construites toutes d'après le système Engerth.

1° *A marchandises.* Celles pour trains de marchandises sont établies dans les conditions suivantes :

Diamètre des roues motrices.		$1^m,065$
Nombre des roues accouplées.		6
Diamètre de cylindres.		$0^m,475$
Course des pistons.		$0^m,610$
Pression effective de la vapeur.		$8^{atm},75$
Surface de chauffe du foyer.	$7^{m2},04$	
Surface de chauffe des tubes (189). . . .	146 ,35	
Surface de chauffe totale.	$153^{m2},39$	
Distance des essieux moteurs extrêmes		$3^m,438$
Poids de la machine et du tender en service.. . .		$59,000^k$

Cette charge se répartit comme suit :

	kil.		kil.
1er Essieu.	13.700	Adhérence totale.	39.500
2e Essieu.	12.050		
3e Essieu.	11.750		
4e Essieu.	5.500	. . . .	21.500
5e Essieu.	18.000		
Poids total.			59.000

Ces machines avaient été construites pour avoir les dix roues couplées au moyen d'engrenages, mais le système fut reconnu impraticable ; les engrenages furent abandonnés, en sorte que la machine fut réduite tout simplement à une machine à six roues couplées. C'est ainsi que ces machines

ont fonctionné depuis 1853. Mais évidemment ces conditions étaient mauvaises, et comme les machines avaient besoin d'une grande réparation, nous nous sommes décidés à les modifier complétement, en fixant le quatrième essieu à la machine de façon à l'accoupler, et à faire un tender séparé (voir notre première note, *Annales des mines*, 5e série, tome XIX, page 481.

Nous avons déjà plusieurs machines dans ces conditions, et nous sommes convaincus que nous en aurons de bons résultats. Le faible écartement des essieux parallèles (3m,438) n'offre aucun inconvénient bien sensible pour le passage des courbes; on a d'ailleurs laissé au quatrième essieu un jeu latéral de 0m,02 qui facilite ce passage. De plus, l'attelage du tender à la machine a lieu au moyen d'un appareil spécial qui reporte le point de traction en avant du quatrième essieu, ce qui permet à la machine de se mouvoir plus facilement.

La répartition de la charge sur les roues, qui était on ne peut plus défavorable, a lieu maintenant d'une manière uniforme ainsi que cela résulte du tableau comparatif ci-après :

	POIDS ADHÉRENT.					TENDER.		Poids total. machine et tender.	Rapport du poids adhérent au poids total.
	1er essieu.	2e essieu.	3e essieu.	4e essieu.	Total.	1er essieu.	2e essieu.		
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.		(1)		
Machine Engerth..	13.700	12,050	11.750	»	37.500	3.500	18.000	59.000	63.56
Machine modifiée.	12.000	11.350	11.300	11.750	46,400	9.000	19.600	66.000	70.30

(1) On doit faire observer que la machine ainsi pesée avait 5 tonnes de combustible dans le tender, mais comme les conditions de charge des essieux se trouvaient trop défavorables, nous avons réduit la quantité de charbon à 3 tonnes et on a obtenu la répartition ci-après:

1er essieu.	13.500 kil.
2e essieu.	12.000
3e essieu.	11.750
4e essieu.	6.500
5e essieu.	15.250

Cette répartition est encore bien défectueuse, mais cela tient au système, et quoi qu'on fasse, on ne peut l'améliorer sensiblement.

Ainsi, malgré l'addition d'un tender et du lest de 3.500 kil. substitué aux caisses à eau, le poids total de la machine modifiée avec son tender n'est que de 7.000 kil. plus élevé que celui de l'ancienne machine. Quant au rapport entre le poids utile adhérent et le poids total de la machine et du tender, il a été amélioré de près de 7 p. 100.

Il faut encore faire observer que l'adhérence de 37.500 kil. de l'ancienne machine est calculée avec les réservoirs pleins d'eau au départ, mais que ce poids se réduit successivement jusqu'à 33 tonnes, ce qui n'a pas lieu dans la nouvelle machine.

2° *A voyageurs.* — Les machines à voyageurs ne diffèrent des premières que par le diamètre des roues.

Toutes les autres dispositions sont à peu près les mêmes que pour les machines à marchandises, mais les modifications apportées à ces dernières ne peuvent être appliquées ici avec avantage.

Les conditions d'établissement de ces machines sont :

Diamètre des roues motrices.	$1^m,264$
Diamètre des cylindres.	$0^m,475$
Course des pistons.	$0^m,574$
Pressions de la vapeur	$8^{atm},75$
Surface de chauffe totale.	$153^{m},39$
Distance des essieux moteurs extrêmes	$2^m,727$

Le poids de la machine et du tender en service est comme suit :

	kil.		kil.
1er Essieu.	13.000	Adhérence totale.	36.900
2e Essieu.	11.900		
3e Essieu.	12.000		
4e Essieu.	6.700	. . . .	19.500
5e Essieu.	12.800		
Poids total.			56.400

Charge des trains. — La charge des trains sur le Semmering est réglée de la manière suivante :

	TRAINS de voyageurs à la vitesse de 2 1/2 milles ou 19 kilomètres à l'heure environ.	TRAINS de marchandises ou mixtes à la vitesse de 2 milles ou 15 kilomètres à l'heure.
	tonnes.	tonnes.
Machine à voyageurs	100	115
Machine à marchandises ancien système à 6 roues couplées	115	130
Machine modifiée à 8 roues couplées	»	170

Dans la direction de Mürzzuschlag vers Gloggnitz et par un beau temps, les charges ci-dessus peuvent être augmentées de 5 tonnes.

Le règlement porte également qu'en cas de mauvais temps, de brouillard, ou de grand froid, les charges indiquées peuvent être réduites jusqu'à 25 p. 100 sur la demande des mécaniciens ou chefs de dépôt.

Il arrive fréquemment que le temps est beau au départ de Gloggnitz, mais qu'il est très-mauvais au fur et à mesure qu'on atteint les régions plus élevées; aussi les chefs de stations ont-ils l'ordre de faire connaître par télégraphe à Gloggnitz et Mürzzuschlag l'état de l'atmosphère, afin qu'on agisse en conséquence pour la charge des trains.

Les trains de marchandises qui parcourent la ligne du sud de Vienne à Trieste sont généralement chargés à 350 tonnes brutes. Ils doivent donc être divisés en trois parties d'environ 117 tonnes pour franchir le Semmering avec les anciennes machines, et seulement en deux avec les machines modifiées.

Vitesse des trains. — Emploi des freins. — La vitesse des trains sur le Semmering, en déduisant les temps d'arrêt, est d'environ 18 à 19 kilom. pour les trains de voyageurs ordinaires. Les trains de *Cour* marchent seuls à 30 kil. environ.

Les trains de marchandises à 15 ou 16 kil.

Le règlement pour le nombre de freins porte :

1° Pour trains de voyageurs, une paire de roues avec freins sur deux;

2° Pour les trains de marchandises, une paire de roues avec freins sur quatre.

Ainsi, si les freins sont disposés pour agir sur les deux paires de roues d'une voiture, il faut pour les trains de voyageurs que le nombre de voitures à frein soit égal à celui des voitures sans frein.

Pour les trains de marchandises, le nombre des wagons à frein est le quart du nombre total des wagons.

La manœuvre des freins exige de la part du personnel une grande habitude; car si, d'une part, on ne doit pas enrayer complétement les roues pour éviter de détruire les bandages et les rails, on doit aussi se garder de laisser les sabots serrés longtemps sur les mêmes roues pour prévenir un trop grand échauffement, ce qui aurait le double inconvénient d'ébranler les bandages et de brûler les sabots.

Enfin la sécurité exige que la manœuvre des freins se fasse avec la plus grande prudence. Si la vitesse s'accroît au delà de la limite fixée, on éprouve sur des pentes de 0m,025 des difficultés sérieuses pour la ramener à cette limite, et il faut dans ce cas que le mécanicien vienne en aide aux garde-freins en faisant contre-vapeur.

Dépenses de traction. — Pendant l'exercice de 1860, les dépenses de traction et d'entretien du matériel des trains du Semmering ont été par kilomètre de traction de. . . . . fr. 2,849

Les mêmes dépenses pour les trains des autres sections des lignes du Sud ont été de. 1,891

d'où il résulte une différence de. 0,958

soit 33,6 p. 100.

Mais, si l'on tient compte de la différence de charge entre les trains du Semmering et les trains des autres sections, on arrive aux résultats suivants :

1° *Trains de voyageurs.* — Les trains de voyageurs com-

posés en moyenne de 15 à 16 voitures, et pesant 100 tonnes (non compris la machine et le tender) passent généralement le Semmering en une seule fois.

On peut donc dire que la dépense de traction des trains de voyageurs du Semmering est de 33,6 p. 100 plus forte que celle des trains des autres sections.

2° *Trains de marchandises.* — Les trains de marchandises de la ligne du Sud arrivant à Gloggnitz et à Mürzzuschlag avec une charge moyenne de 300 à 350 tonnes, doivent être divisés en trois parties d'environ 117 tonnes chacune pour franchir le Semmering.

Le prix de traction de chacune de ces parties étant, comme nous l'avons dit, de 2f,849, le rapport entre les dépenses de traction sur le Semmering et sur les autres sections sera

$$\frac{3 \times 2849}{1,89} = 4,52.$$

Tels sont les résultats de l'année 1860 que nous tenons à constater.

Les modifications que nous apportons aux machines des trains de marchandises par l'accouplement du quatrième essieu et la séparation du tender nous donnent l'assurance, par l'expérience que nous avons déjà faite, que les dépenses du Semmering *seront notablement réduites.*

Voici le sous-détail comparatif des dépenses de la traction sur le Semmering et sur les autres sections pour l'exercice 1860 :

	Semmering.	Autres sections.	Moyenne.
Locomotives.	fr.	fr.	fr.
Conduite	0,352	0,240	0,254
Combustible	1,148	0,790	0,828
Graissage	0,134	0,070	0,077
Eau	0,047 (a)	0,069	0,066
Réparations	0,805	0,296	0,351
Frais généraux	0,123	0,079	0,083
Voitures et wagons.			
Réparation de voitures et wagons	0,224	0,322	0,311
Frais généraux	0,016	0,025	0,024
Totaux	2,849	1,891	1,994

(a) Dépense plus faible à cause des eaux naturelles du Semmering.

Combustible. — Le combustible employé sur le Semmering est le lignite de Leoben dont la puissance calorifique est de 65 p. 100 de celle du coke de Witkowitz.

Le prix moyen de ce lignite est de 21^f,50 la tonne rendu à Bruck et 22^f,85 rendu à Mürzzuschlag.

Ce combustible est d'un très-bon usage pour les machines, et généralement les mécaniciens maintiennent très-facilement leur pression.

La consommation moyenne des machines entre Gloggnitz et Mürzzuschlag est comme suit :

	kil.
1° Trains de voyageurs de 12 à 15 voitures, charge brute, remorquée, 100 tonnes	32
2° Trains de marchandises, avec anciennes machines de 11 à 12 wagons, charge brute, 130 tonnes	42
3° Trains de marchandises avec machines modifiées, de 14 à 15 wagons, charge brute, 170 tonnes	55

Le dépôt principal est à Mürzzuschlag, et c'est là que les machines s'approvisionnent du combustible nécessaire pour aller à Gloggnitz et retour.

Entretien de la voie. — Les frais relatifs à l'entretien et à la surveillance de la voie et des travaux d'art ont donné les résultats suivants :

	fr.		fr.	
Semmering par mille de chemin exploité.	80.142	ou	10.564	par kil.
Autres sections (moyenne)	32.893	ou	4.336	
Différence	47.247	ou	6.228	par kil.

Soit 143,10 pour 100.

Quant aux autres dépenses d'exploitation du Semmering, les différences avec celles des autres sections ne sont pas sensibles, et nous ne croyons pas devoir en faire mention.

On sait, d'un autre côté, que les dépenses de premier établissement du Semmering égalent au moins trois fois celles des autres parties.

Signaux spéciaux sur le Semmering. — Contrairement au principe adopté en France, l'absence de signal indique qu'un train doit s'arrêter.

Mais il nous semble que ce système a fait son temps. L'expérience a démontré ses inconvénients ; ses avantages sont contestables. Aussi se propose-t-on de changer complétement ce système et d'appliquer celui, si rationnel, où l'absence de tout signal indique la voie libre.

Le système de signaux suivi sur le Semmering est le même que celui adopté pour toute la ligne, avec cette différence que les gardes sont beaucoup plus rapprochés les uns des autres, en raison des courbes continuelles et des nombreux travaux d'art qui existent sur cette section.

Le système en question se compose de signaux optiques placés de distance en distance suivant les difficultés du terrain, et qui doivent toujours être en vue du mécanicien pour annoncer la voie libre.

Chaque appareil de signal se compose d'un mât, surmonté d'une traverse, aux extrémités de laquelle sont hissées une ou plusieurs boules ou corbeilles d'osier rouges.

Dès qu'un train doit partir d'une station marchant dans la direction de Trieste, le premier garde élève une boule ; le garde suivant qui aperçoit ce signal élève la sienne et

ainsi de suite, de sorte que le train est toujours précédé du signal.

Si le train marche dans la direction opposée, on emploie deux boules.

La nuit, les trains sont signalés par un feu rouge et un feu blanc superposé.

Ce signal est le même pour les deux directions.

Indépendamment de ce système général de signaux optiques, on a encore établi sur le Semmering, et pour plus de sûreté, les signaux électriques à cloche.

Au départ de tout train d'une station, ce signal est mis en mouvement et avertit tous les gardes, suivant le nombre de coups de cloche, que le train arrive.

Ce système bien appliqué suffit à lui seul pour garantir parfaitement la sécurité, et on ne conserverait seulement les signaux optiques ou disques avancés que pour donner le signal d'arrêt au train, soit à l'approche d'un passage à niveau embarrassé, d'une station ou d'un train arrêté.

Nous terminons cette note par le tableau de la répartition des dépenses de traction par train et par kilomètre sur le réseau des chemins de fer du sud de l'Autriche pendant l'année 1860.

CHEMINS DE FER DU SUD DE L'AUTRICHE.

Lignes de Vienne à Trieste; Mödling à Laxenburg; Neustadt à Œdenburg, Pragerhof à Ofen, Stuhlweissenburg à Ily-Szöny.

État comparatif des dépenses de traction des années 1859, 1860 et 1861.

DÉSIGNATION.	ANNÉE 1859, sous l'administration de l'État.	SOUS L'ADMINISTRATION de la compagnie. Année 1860.	Année 1861. 1er semestre seulement.	Réduction pour 100 de 1861 sur 1859.
	kil.	kil.	fr.	
Parcours des trains	4.416.023	3.990.493	2.541.696	
Parcours des machines	5.967.671	4.561.279	2.861.567	
Excédant du parcours des machines sur celui des trains pour 100	35,12 °/o	14,30 °/o	12,58 °/o	
Dépenses totales de traction et d'entretien du matériel	fr. 13.322.592	fr. 7.958.366,92	fr. 4.056.031,37	
Dépenses par kilomètre de train :				
1° *Locomotives.*	fr.	fr.	fr.	
Conduite	0,244	0,254	0,232	5
Combustible	1.082	0,828	0,783	27
Graissage	0,136	0,077	0,085	37
Eau	0,109	0,066	0,037	60
Réparations	0,636	0,351	0,226	64
Frais généraux	0,098	0,083	0,066	32
2° *Voitures et wagons.*				
Réparations des voitures	0,228	0,095	0,035	77
Réparation des wagons	0,434	0,175	0,072	
Graissage	»	0,042	0,041	
Frais généraux	0,049	0,023	0,017	65
Total par kilomètre de train	3,016	1,991	1,595	47

Kilomètres exploités :
- En 1859 614
- En 1860 805
- En 1861 . . . . 1.026

ÉTAT PRÉSENT

DE LA MÉTALLURGIE DU FER EN ANGLETERRE (*).

PAR

M. GRUNER, ingénieur en chef des mines, professeur de métallurgie à l'École impériale des mines,

ET

M. LAN, ingénieur des mines, professeur de métallurgie à l'École des mineurs de Saint-Étienne.

IV. DISTRICT DU NORD DE L'ANGLETERRE.

SOUS-DISTRICT DU CLEVELAND, DU DURHAM ET DU CUMBERLAND.

CHAPITRE XVII.

IMPORTANCE DU DISTRICT; BASSIN HOUILLER DE NEWCASTLE.

Le terrain houiller du Nord de l'Angleterre est divisé en deux branches, est et ouest, comme celui du Centre; mais ces branches sont fort inégales : sur le versant oriental, le grand bassin de *Newcastle;* sur le versant occidental, l'étroite zone houillère du *Cumberland*, le long de la mer, entre Whitehaven et Maryport; entre deux s'élèvent les plateaux incultes de Allenhead, formés de millstone-grit et de calcaire carbonifère à filons de plomb.

Division du district Nord. — Ces deux bassins alimentent les usines du quatrième district de forges, qui se divise en réalité en trois sous-districts :

Le *Cleveland* (ou *Middlesboro*) ;

Le *Durham* (ou *Newcastle*),

Et le *Cumberland*, ou *Nord-Lancashire.*

(*) Voir première partie, 5e série, tome XIX, page 131.
Deuxième partie, 5e série, tome XX, page 109.
Troisième partie, 5e série, tome XX, page 515.

L'industrie des fers, dans le district du Nord, diffère à bien des égards de celle du Staffordshire, du pays de Galles et de l'Écosse. Tandis que le minerai houiller abonde dans ces trois districts, et y forme la base de la fabrication de la fonte, le bassin du Nord en est presque entièrement dépourvu. Dans le Cleveland, on traite le fer oolithique du lias; dans le Cumberland, le *red-ore* du calcaire carbonifère; dans le Durham, un mélange de ces deux minerais, avec le fer des houillères et le fer spathique ou l'hématite brune des filons plombeux; de plus, au lieu de houille crue, on se sert exclusivement de coke.

Les usines du Nord produisent spécialement des fontes de forge; les fontes à hématites du Cumberland, et surtout celles de Weardale, dans le Durham, provenant de fers spathiques, plus ou moins décomposés, sont réputées de qualité supérieure.

Les fontes du Cleveland, quoique grises comme celles du Staffordshire, sont beaucoup moins tenaces et plus impures. Elles sont cotées à 1 liv. de moins que les fontes ordinaires du district central, 2 liv. 8 sh. à 2 liv. 10 sh., au lieu de 3 liv. 8 sh à 3 liv. 15 sh.

Le Cleveland vend aussi ses numéros supérieurs comme fontes de moulage, mais elles sont moins recherchées que les fontes d'Écosse.

Nombre des usines. — Le district du Nord comprend 35 à 40 usines avec 120 hauts fourneaux. Sa production en fonte atteint actuellement 7 à 800.000 tonnes, dont les trois quarts proviennent des usines du Cleveland.

Terrain houiller du nord de l'Angleterre. — Avant de passer à la description des districts de forge, disons quelques mots du terrain houiller qui leur fournit le combustible. Il se divise, comme nous venons de le rappeler, en deux parts fort inégales, le bassin de Newcastle et celui de Cumberland; le premier exploite annuellement 16 à 17 millions de tonnes, le second 1 million.

Les détails qui vont suivre s'appliquent surtout au bassin de Newcastle, mais tout ce qui est relatif aux prix de revient et à la nature des charbons convient également au bassin du Cumberland.

Le bassin de Newcastle court, du sud au nord, depuis la vallée de la Tees jusqu'à celle du Coquet. Sa longueur est de 50 milles, et sa largeur moyenne de 15 à 20 milles. Sa superficie apparente, non compris celle du Millstone-Grit, est de 780 milles quarrés. Mais à l'est, entre la Tyne et la Tees, le terrain houiller s'enfonce sous les grès et les calcaires permiens, et s'étend sans doute dans cette direction fort au loin, car les travaux de plusieurs mines se développent déjà depuis longtemps sous ces dépôts secondaires.

Nombre des couches de houille. — On distingue 40 couches de charbon, dont 18 sont réputées exploitables; mais ces veines sont loin d'être continues, et n'existent jamais toutes dans l'étendue entière du bassin houiller.

En général il y a rarement, dans les parties les plus riches, au delà de 4 à 5 couches de 2 à 5 pieds de puissance, et l'ingénieur Buddle estime qu'en moyenne on ne peut admettre que 12 pieds de puissance utile dans l'ensemble du bassin.

On voit donc que là encore la richesse houillère n'est pas aussi colossale qu'on se le figure généralement; elle est surtout plus faible que dans le pays de Galles, où, sur une étendue plus grande, l'épaisseur utile est à peu près le double.

Production du bassin. — Sous le rapport de la production absolue, le bassin de Newcastle est primé par celui du Centre, mais l'emporte sur ceux du pays de Galles et de l'Écosse. Le tableau de la page 173, tome XIX, nous montre, en effet, que

Le bassin du Centre fournit 29 à 30 millions;

Le bassin de Newcastle et du Cumberland, 16 à 17 millions;

Le bassin d'Écosse, 9 millions;

Celui du pays de Galles, 7 à 8 millions.

Quant à la production *spécifique* par mine, aucun n'approche du bassin de Newcastle; tandis que la moyenne par mine, dans l'ensemble du Royaume-Uni, est de 22.000 tonnes; la moyenne de Newcastle atteint 55.000 tonnes.

Exportation du bassin de Newcastle. — Enfin le bassin de Newcastle l'emporte également sur tous les autres par le chiffre de son exportation, qui dépasse la moitié de l'exportation totale. En 1858, elle s'est élevée, en effet, à

Houille	3.542.922 tonnes.
Coke.	207.103 tonnes.

Nature des houilles. — Les charbons de Newcastle tiennent, par leur nature, le milieu entre ceux du pays de Galles et ceux du Staffordshire. Ce sont des houilles grasses à longue flamme, donnant du coke blanc argentin, parfaitement fondu, affectant la forme de longs prismes effilés.

C'est l'équivalent des houilles grasses maréchales du bassin de la Loire. Au sud, dans le Durham, les charbons sont surtout tendres et très-collants; tandis qu'au nord, dans le Northumberland, les houilles deviennent plus dures et plus sèches, et conviennent surtout aux usines à gaz. Jusqu'il y a 6 ou 7 ans, le *menu fin*, provenant du criblage, était à Newcastle, comme dans les districts du Centre, en majeure partie abandonné sur les haldes, ou brûlé en plein champ comme objet de nulle valeur.

Aujourd'hui, grâce à la machine à laver de M. Bérard, ce menu est épuré et remplace en partie le tout-venant dans la fabrication du coke. Il est résulté de là une hausse sur le prix du menu et une baisse sur celle du gros.

En 1850, lorsque la première forge fut établie à Middlesboro, le menu ne coûtait, sur les puits, que 3 à 6 d., et maintenant 2 sh. à 2 sh. 9 d.; tandis que le gros ordinaire est descendu de 6 sh. 6 d. à 5 sh. 6 d.

Redevances. — Dans le Durham, entre la Tyne et la Tees, le sol houiller appartient en majeure partie au comte palatin, évêque de Durham. En moyenne, on lui paye 6 d. de redevance par tonne légale de 2.240 liv.; mais elle varie, selon les lieux et la qualité du charbon, de 4 à 8 pence; çà et là elle monte même à 12 d., et quelques mines, aux environs de Newcastle, payent jusqu'à 1 sh. 3 d.

Dans la partie sud du Durham, d'où viennent les charbons pour les usines du Cleveland, presque toutes les mines sont aux mains d'un seul extracteur, Joseph Pease, de Darlington. Il exploite à lui seul 1.200.000 tonnes par an. Cependant les principaux maîtres de forges du pays, MM. Bolckow et Vaughan, de Middlesboro, la compagnie de Derwent et Concett et celle de Ferryhill et Tudhoë, ont leurs propres mines et exploitent du charbon, soit pour leur usage, soit pour l'exportation.

Prix de revient. — Le prix de revient du charbon, dans le sud et l'ouest de Durham, est extrêmement bas dans la plupart des mines. A cause de la faible dureté de la houille, il excède rarement 2 sh. 9 d. à 3 sh. la tonne de 2.240 liv. (1), soit 3 fr. 50 cent. en moyenne les 1.000 kil. (2).

Les prix de vente actuels dans cette partie du bassin sont résumés dans le tableau suivant :

---

(1) Dans tout le district du Cleveland et de Newcastle on se sert exclusivement de la tonne légale.

(2) Dans les mines où la houille est tendre, un piqueur abat dans sa journée jusqu'à 6 ou 7 tonnes. Dans le nord du bassin, le charbon est plus dur; aussi le prix de revient monte jusqu'à 5 sh.

Prix de vente.

NATURE DU CHARBON.	PRIX sur les puits ou dans les forges voisines.	PRIX dans les forges de Middlesboro.	Observations.
	sh. d. sh. d.	sh. d. sh d.	
Tout-venant	3.6 à 4.	4.9 à 5.3	(a)
Menu passé non lavé	2.3 à 2.9	3.6 à 4.	(a)
Petit charbon criblé dit *noisette*	3.9 à 4.	5. à 5.3	(a)
Gros ordinaire	5.2 à 5.6	6.6 à 7.	(a)
Gros supérieur	6.9	8	

(*a*) La distance moyenne des mines aux usines ou au port d'embarquement est de 30 milles, et le fret de 1/2 denier par tonne et par mille, soit 1 sh. 3 d. pour la distance entière.

Le Durham est sillonné de chemins de fer. Outre la grande ligne nord-sud, le *North-Eastern*, qui va de Londres à Édimbourg, en passant par Darlington et Newcastle, on a établi, pour le transport de la houille, de nombreuses lignes transversales qui rattachent les mines aux ports les plus voisins : ainsi, dans la vallée de la Tees, le plus ancien chemin de fer anglais, celui de Darlington à Stockton et Middlesboro.

Plus au nord, diverses lignes reliant Stanhope, Weardale, Auckland et la ville de Durham, aux ports de Hartlepool, Sunderland et Shields ; puis, dans la vallée de la Tyne, le grand chemin de fer transversal de Carlisle à Newcastle, prolongé jusqu'aux ports de Tynemouth et de Nord-Shields. Par contre, il existe peu de canaux dans ce district ; mais à la haute mer, les bâtiments à faible tirant d'eau remontent la Tees jusqu'à Stockton, et la Tyne jusqu'à Newcastle.

Prix du coke. — Le coke est fabriqué sur les mines. On emploie, à cet effet, soit le tout-venant, soit le menu lavé. L'opération se fait, le plus souvent, dans les fours ronds ordinaires à boulanger, sans parois chauffées. La houille

rend en moyenne 55 pour 100, et le coke se vend, selon la qualité, 8 à 9 sh.

Le prix de revient se compose de :

1.800 tonnes de houille à 3 sh. 9 d.	6. 9
Frais de fabrication	1. 3
Prix sur la mine des 2.240 liv.	8.
Frais de transport des mines aux usines de Middlesboro, pour une distance de 30 milles	2.
Prix de la tonne aux hauts fourneaux du Cleveland	10.
Ou pour les qualités supérieures	11.

Le meilleur coke, pour cubilot ou locomotives, est coté, sous vergues, pour l'exportation, 12 sh. 6 d. à 14 sh.

Minerai houiller. — Le bassin houiller du Nord renferme, comme nous l'avons dit, fort peu de minerai. On en trouve cependant çà et là vers la base du terrain, mais en rognons trop clair-semés pour qu'on puisse les exploiter, à moins qu'ils ne soient placés au toit immédiat des couches de houille. C'est ainsi que, tout en abattant la houille, on retire des mines du Durham et du Northumberland environ 20.000 tonnes de fer carbonaté lithoïde que la compagnie de Derwent fond dans ses hauts fourneaux. Il revient à 8 sh. la tonne, mais coûterait beaucoup plus s'il fallait ouvrir, pour son extraction, des travaux spéciaux.

CHAPITRE XVIII.

SOUS-DISTRICT DU CLEVELAND (MIDDLESBORO).

Des trois sous-districts du Nord, celui du Cleveland, quoique le plus moderne, est néanmoins de beaucoup le plus important. Les usines sont groupées sur les deux rives de la Tees, dans un rayon de 5 à 6 milles de son embouchure. Le plus grand nombre est situé sur la rive droite, entre Stockton et Redcar, auprès de la petite ville de Middlesboro. (Voy. carte d'Angleterre, Pl. I.)

Nombre des hauts fourneaux. — En 1860, à l'époque de notre voyage, on comptait :

	32	hauts fourneaux au sud de la Tees.
	16	hauts fourneaux au nord.
Total.	48	formant 12 établissements distincts.

A ces hauts fourneaux sont associées deux forges seulement, celle de *Middlesboro* et celle de *Teesside*, l'une et l'autre auprès de Middlesboro.

Les forges sont plus nombreuses dans le Durham, auprès des mines de houille, tandis que les hauts fourneaux ont été plutôt bâtis dans le voisinage des mines de fer.

Conditions spéciales du sous-district du Cleveland. — Les mines du Cleveland sont de date très-récente : les plus anciennes remontent à peine à 10 ou 12 ans, époque de la découverte du minerai liasique. Mais, grâce à l'abondance de ce minerai, le district a pris, en peu d'années, une importance très-grande. Tout concourait d'ailleurs à favoriser ce rapide développement. Le minerai affleure, en couche puissante, dans les collines qui bordent la mer; on l'exploite sans puits, à ciel ouvert, ou par simples galeries.

Le bassin de Durham, dont nous venons de parler, fournit les charbons; et, depuis quarante ans déjà, le plus ancien railway du Royaume-Uni transporte ses charbons, de la distance de 30 milles, à Middlesboro, pour la faible somme de 1 sh. 3 d. par tonne de houille, et de 2 sh. par tonne de coke.

Les hauts fourneaux, construits au pied des mines de fer, se trouvaient donc, par avance déjà, reliés aux houillères, et pouvaient, de plus directement exporter par mer les produits fabriqués. Cette situation exceptionnelle menaçait de ruine les autres districts du Royaume-Uni. Heureusement pour eux, ces conditions si favorables sont en partie contre-balancées par la nature spéciale du minerai. Beaucoup moins réductible et moins fusible que le carbo-

nate houiller, il est, en outre, plus phosphoreux et tout aussi sulfureux, sans renfermer comme lui, à titre de correctif, de l'oxyde de manganèse en proportion élevée. Aussi, par ce motif, les fontes de moulage du Cleveland sont, en effet, moins douces que celles de Glasgow, sans être plus tenaces ; et les fontes de forge, quoique grises, ne conviennent que pour la fabrication des rails, ou pour celle des fers et tôles de qualité commune. Elles ne peuvent, en aucun cas, remplacer les fontes de forge du district central.

§ 1. *Matières premières.*

Les mines de Cleveland reçoivent le combustible et l'argile réfractaire des mines du Durham, dont nous venons de parler, de celles surtout qui entourent *West-Auckland* et la vallée supérieure de la *Wear*.

Le minerai vient des collines du Cleveland, au pied desquelles sont bâtis les hauts fourneaux; la castine, des plateaux calcaires de Stanhope et Allendale qui séparent le bassin de Newcastle de celui du Cumberland. C'est, de toutes les matières premières, celle qui supporte le transport le plus lointain, environ 40 milles (64 kilom.).

Nous n'avons pas à revenir sur le combustible dont nous venons de faire connaître la provenance, le prix et les caractères. Nous ne dirons rien non plus de l'argile réfractaire, dont le prix et la qualité sont à peu près les mêmes dans tous les bassins. Quant au minerai, qui caractérise d'une façon si spéciale le district du Cleveland, nous en avons parlé dans la première partie de notre travail (p. 86). Il nous suffira donc de compléter ici les détails précédemment donnés.

Minerai liasique. — Le minerai a été découvert, il y a dix ou douze ans, par les principaux maîtres de forges du pays, MM. *Bolckow* et *Vaughan*, qui avaient établi à Middlesboro, quelques années avant, une forge à laminoir pour

le traitement de la ferraille et l'affinage de la fonte de diverses provenances.

Depuis l'embouchure de la Tees jusqu'à Whitby, la mer est bordée d'une rangée de collines, à sommets plats, courant de l'est à l'ouest et s'élevant en moyenne au niveau de 100 mètres. A la base perce le lias, vers le haut paraît l'oolithe inférieure. A mi-hauteur, dans le lias moyen, affleure une couche ferrugineuse de 4 m. de puissance. C'est le minerai du Cleveland, formé ici d'un mélange intime de carbonate gris et d'hydrosilicate verdâtre de protoxyde de fer (1). La couche, dirigée de l'est à l'ouest, incline aux affleurements de 7 p. 100 vers le sud, devient horizontale sous le centre des collines, puis se relève en sens inverse et affleure de nouveau à la distance de 6 ou 7 milles dans le vallon de Guisborough, qui va de l'est à l'ouest, comme les collines elles-mêmes. C'est le long de ces affleurements que l'on exploite le minerai. La mine la plus importante et la plus ancienne en date a été ouverte par MM. *Bolckow* et *Vaughan* sur l'affleurement nord, auprès d'Eston, entre Redcar et Middlesboro. A l'extrémité ouest du même affleurement, se trouve la mine des frères *Bell*, les propriétaires des 5 hauts fourneaux de *Clarence-Works*, situés en face de Middlesboro, sur la rive gauche de la Tees.

Enfin, dans la vallée de Guisborough, sont les mines de Joseph *Pease*, le riche exploitant de houille de Darlington. Outre cela, quelques autres mines beaucoup moins importantes ont été ouvertes à l'est et à l'ouest des précédentes.

Minerai exploité.—L'ensemble de toutes ces exploitations fournit un total annuel de 1.400.000 à 1.500.000 tonnes, dont la moitié par la seule mine d'Eston, appartenant à

---

(1) A 25 ou 30 mètres au-dessus de la couche principale s'en trouve une seconde beaucoup moins puissante qui renferme du carbonate de fer plus riche en rognons. On l'exploite sur quelques points, et depuis assez longtemps aux environs de *Whitby*.

MM. Bolckow et Vaughan. Donnons quelques détails sur cette dernière, dont le champ peut s'étendre sur 2 milles suivant la direction et 1 1/2 suivant la pente.

Mode d'exploitation. — On a d'abord exploité l'affleurement à ciel ouvert, sur un développement de plus d'un mille. A cette époque, le minerai ne coûtait que 2 sh. Mais bientôt, à cause de la roideur de la colline, il fallut entamer le gîte par galeries. Aujourd'hui, outre une galerie d'écoulement à travers banc prise dans le mur, trois grandes galeries de roulage, partant des affleurements, desservent la mine ; chacune d'elles est pourvue d'une machine à vapeur horizontale et fixe, de la force de 15 chevaux, placée à l'intérieur, à quelques mètres du jour. Elle met en mouvement un câble en fil de fer sans fin, guidé par des rouleaux ou des poulies et destiné à traîner les convois de wagons (1). Ces galeries ont jusqu'à 1.000 yards (900 mètres) de longueur, ne sont pas rigoureusement droites et parcourent le gîte en demi-pente, avec une inclinaison d'au plus 2 à 3 p. 100. Elles sont éclairées au gaz dans toute leur longueur. Les convois se composent de 25 wagons pleins montant et autant de vides allant en sens inverse. On pourrait, dit-on, en mettre 40. La vitesse s'élevait de 2 mèt. 50 à 3 mèt. par seconde (10 kilom. à l'heure). Les wagons sont de forme rectangulaire et en tôle ; ils tiennent 1.500 kil. de minerai, et pèsent vides 900 kil. De l'embouchure de chacune des trois galeries, part un plan incliné automoteur extérieur, de 5 à 700 yards de longueur.

Celui du milieu descend directement suivant la ligne de plus grande pente du coteau, les deux autres en demi-pente. Ils aboutissent tous trois au pied du coteau, à un même système d'estacades.

---

(1) Ce système de roulage, employé dans les mines de houille de Newcastle, a été décrit en détail par M. Baure. (*Bulletin de la Société minérale*, tome IV, page 201.)

Là les wagons de la mine sont vidés dans les grands wagons du chemin de fer à locomotives qui rejoint, à la distance d'un mille et demi, la ligne de Stockton à Darlington, ligne dont les divers embranchements entre Middlesboro et Redcar, desservent directement tous les hauts fourneaux de la rive droite de la Tees. Un autre embranchement se rend dans la vallée de Guisborough, pour amener aux hauts fourneaux les minerais de l'affleurement sud provenant des exploitations de M. Joseph Pease.

La méthode d'exploitation suivie dans la mine d'Eston est fort simple. On découpe le gîte en massifs de 30 yards sur 10, par des galeries de 3 yards de largeur, la longueur des massifs étant prise dans le sens de la pente. Les galeries sont immédiatement percées sur 3 yards de hauteur en suivant le mur. Au ciel on laisse provisoirement un yard de minerai, comme étant plus solide que les schistes du toit. Les massifs sont ensuite dépilés, à partir des affleurements, en les recoupant par une série de chantiers à angle droit qui laissent de très-petits piliers au milieu des éboulements. C'est une méthode peu coûteuse sans remblais, mais qui doit perdre un quart de la richesse minérale, par les piliers abandonnés et l'enlèvement incomplet du banc du toit. De nombreux embranchements amènent les wagons des grandes voies de roulage jusqu'aux moindres chantiers d'abatage.

La mine occupe 400 mineurs et 300 ouvriers accessoires. Les mineurs travaillent deux à deux à grands coups de mines. On leur donne 10 d. par tonne (1 fr. par 1.000 kil.), à charge de payer poudre et chandelles, mais non la réparation des outils. Chaque mineur abat 5 à 6 tonnes et gagne par jour 3 sh. 6 d. à 5 sh. Par tonne de minerai, on consomme le 1/5 d'une livre de poudre (90 gr.). Le bois pour les étais vient en partie du département des Landes, par Bordeaux ou Bayonne. C'est du pin maritime qui coûte,

rendu à la mine, 14 à 15 d. le pied cube (51 à 55 fr. le mètre cube).

Prix de revient du minerai. — Le minerai de fer, chargé en wagons du grand railway à locomotives, coûte, intérêts de capitaux compris, 3 sh. 3 d. à 3 sh. 6 d. la tonne légale, à savoir :

Pour abatage.	10
Pour roulage et main-d'œuvre accessoire.	9
Bois et autres matériaux.	6
Royalty.	8
Frais de bureau et intérêts de capitaux. .	5 sh. à 6 d.
Prix de revient des 2.240 tonnes . . .	3 sh. 3 d. à 3 sh. d.

La production hebdomadaire était de 14.000 tonnes à l'époque de notre visite. La majeure partie est fondue dans les 16 hauts fourneaux qui appartiennent aux propriétaires de la mine. Le reste est vendu aux mines voisines au prix de 4 sh. 6 d., chargé en wagons. Les usines les plus rapprochés sont à 2 milles ; les plus éloignées à 5 ou 6 milles. Les frais de transport sont de 1 d. par tonne et mille.

A Guisborough le prix de revient n'atteint pas 3 sh., mais la distance aux mines est de 10 à 12 milles. Par ce motif on préfère griller le minerai sur place, et le vendre à l'état calciné. L'opération se fait en fours. Le minerai calciné est livré, rendu à Middlesboro, au prix de 6 sh. 6 d.

Nature du minerai. — Le minerai du Cleveland tient, à l'état cru, 29 à 30 p. 100, et après grillage 40 p. 100, la calcination lui faisant perdre 25 p. 100 de son poids. Nous avons donné la composition d'un échantillon riche à la page 88 (première partie). Ce qui frappe, lorsqu'on examine ces chiffres, c'est la proportion élevée de l'alumine qui est aussi forte que celle de la silice (8 à 10 p. 100), tandis que dans les minerais houillers, elle n'est généralement comprise qu'entre 0,30 à 0,50 de la teneur en silice. Cette circonstance, jointe à la moindre proportion de man

ganèse, explique bien la nature réfractaire de ce minerai (1).

Le minerai du Cleveland renferme de la pyrite de fer que l'on découvre çà et là en veinules irrégulières. Mais ce qui nuit plus, c'est l'acide phosphorique, dont la proportion varie de 1, 5 à 2 p. 100. C'est le double ou le triple du phosphore contenu dans les minerais houillers. Vers la base de la couche le minerai est surtout criblé de fossiles qui paraissent augmenter sa teneur en phosphore. Il ne faut pas s'étonner, après cela, que les fers du Cleveland soient tous cassants à froid.

Red-ores. — Les hauts fourneaux du Cleveland ne fondent en général que le minerai liasique, dont nous venons de parler; cependant quelques maîtres de forge, pour améliorer leurs fontes, y ajoutent de l'hématite rouge du Lancashire et du Cumberland. Mais comme il revient à 20 sh. la tonne rendu en forge, on en use fort peu. D'après la statistique de R. Hunt, le district du Cleveland n'en aurait reçu, en 1858, que 11 à 12.000 tonnes; c'est le dixième du minerai fondu.

Scories de forge — Quelques maîtres de forges chargent aussi des scories de forge; mais, dans tous les cas, seulement des scories de réchauffage et toujours en proportion très-faible.

Castine. — Le terrain jurassique du Cleveland ne renferme aucun banc calcaire non argileux. La castine pour les hauts fourneaux vient du calcaire carbonifère, formant les plateaux de Stanhope et d'Allenhead situés à 40 milles de Middlesboro. Par ce motif, elle coûte 4 sh. la tonne rendue aux hauts fourneaux.

---

(1) C'est aussi cette même proportion élevée de l'alumine qui rend si réfractaire le minerai oolithique de Mondalazac dans l'Aveyron, et beaucoup de minerais en grains du département de l'Indre.

§ 2. *Fabrication proprement dite de la fonte.*

Disposition des usines. — Les usines du Cleveland sont en général établies avec soin, quoique sans luxe, le plus grand nombre d'après le même type.

Les hauts fourneaux, extérieurement cylindriques, sont, ou cerclés, ou garnis de tôle. Les plus modernes reposent sur colonnes; les autres, sur quatre piliers de cœur en briques, reliés entre eux par des voûtes coniques.

Les divers fourneaux d'une même usine, généralement disposés le long d'une même ligne, sont réunis deux à deux par des ponts en fer, mais, à part cela, entièrement isolés, sans halles de coulée ni bâtiment de cassage. Sous les ponts sont construits les appareils à air chaud, au nombre de deux par chaque haut fourneau. En arrière viennent les monte-charges pneumatiques, desservant chacun deux ou trois hauts fourneaux; puis, à droite et à gauche, les chaudières à vapeur et les machines soufflantes.

Les gaz sont partout utilisés, soit pour les chaudières, soit pour le chauffage de l'air.

La plupart des gueulards sont fermés à l'aide du cône distributeur mobile. Cependant, à Tees-Side, on a adopté le cylindre plongeur fixe (*).

Nous rappelons que les ouvriers chargeurs montent et descendent avec les wagons, en se plaçant, avec ces derniers, sur la plate-forme du monte-charge pneumatique.

Les hauts fourneaux du Cleveland n'ont en général que 3 tuyères; leur diamètre est de 4 pouces ($0^m,10$); la pression du vent de 2 3/4 liv. à 3 1/4 liv. ($0^m,15$ à $0^m,18$), la température de 320 à 350°.

Pour chauffer l'air, on se sert de l'appareil Calder ordinaire à siphons aplatis, ou bien, comme à *Clarence-*

(*) Voir 5e série, tome XX, Pl. VI, *fig.* 7.

Works (*), de l'appareil à siphons tronqués, pourvus de cloisons intérieures.

Les machines soufflantes, dans la plupart des usines, sont à balancier et à cylindres droits. La vapeur agit à haute pression et par détente. Les cylindres soufflants ont 2m,40 à 3 mèt. de diamètre et de course; la vitesse des pistons est de 2 mètres. On se sert exclusivement de machines à clapets. Par haut fourneau on compte 60 à 75 chevaux de force.

Nature de la fonte. — Le produit normal des usines du Cleveland est, comme dans les Staffordshire, la fonte *grise* proprement dite.

Les nos 1 et 2 servent au moulage; les nos 3 et 4, pour la forge.

Profil des hauts fourneaux. — Pour obtenir cette fonte, avec les minerais alumineux dont nous venons de parler, on ne peut se servir des hauts fourneaux à ouvrages élargis du pays de Galles, et encore moins des hauts fourneaux sans ouvrage proprement dit du district de Glasgow. Il a fallu conserver l'ancien profil traditionnel, comprenant des étalages et un véritable ouvrage.

Pour atteindre néanmoins de très-fortes productions, on a élargi la cuve. Celle-ci est presque cylindrique, sauf un rétrécissement assez brusque aux approches du gueulard, en vue de faciliter la prise des gaz. Grâce à la dureté du coke et du minerai, on peut d'ailleurs, sans inconvénient, adopter des hauteurs de 15 à 18 mètres.

Le vide intérieur des hauts fourneaux mesure 150 à 175 mètres cubes; quelques-uns, comme ceux de l'usine de Tees-Side, vont même à 200 mètres cubes. Un pareil haut fourneau coûte dans le Cleveland, avec tous ses accessoires en bâtiments, machines soufflantes, embranchements de chemins de fer, etc., 8 à 10.000 liv. st., soit 200 à 250.000 francs.

(*) Voir 5e série, tome XX, Pl. VI, *fig.* 17.

Le minerai grillé du Cleveland est moins fusible, mais tout aussi réductible que le minerai houiller. On peut donc arriver, pour un volume donné de la cuve, à une production aussi forte que dans le Staffordshire, et, en effet, les hauts fourneaux ordinaires de 150 à 175 mètres cubes produisent 20 à 25 tonnes, et ceux de 200 mètres cubes au minimum 30 tonnes, ce qui correspond à $6^{mc},50$ par tonne de fonte dans les vingt-quatre heures.

Consommation en coke. — L'infusibilité de la gangue alumineuse se manifeste par le poids du coke consommé, qui est assez élevé pour un minerai grillé rendant 40 p. 100. On brûle $1^t,50$ à $1^t,70$ selon que la fonte est plus ou moins grise ; par le même motif, on porte la dose de castine jusqu'à $0^t,70$, et l'on souffle à pression haute et température élevée. Ce soufflage énergique favorise d'ailleurs peu la réduction de la silice grâce à l'excès de l'alumine et de la chaux. Aussi les fontes du Cleveland sont moins siliceuses et moins noires que celles de Glasgow; par contre, plus phosphoreuses. Comme l'air ordinaire ne remédierait nullement à ce dernier inconvénient, on n'a jamais cherché, dans les usines du Cleveland, à souffler froid. On aurait des fontes presque aussi impures avec une consommation beaucoup plus forte.

Laitiers. — Les laitiers diffèrent entièrement de ceux des autres districts. Ils sont habituellement pierreux et *courts*, et, après leur refroidissement, ne présentent jamais la teinte émaillée, olive clair ou vert pomme, des laitiers manganésifères.

Emploi des scories de forge. — Quelques maîtres de forge commencent à charger des scories de forge. Lorsqu'on se borne aux scories de réchauffage, qui sont peu phosphoreuses, et lorsqu'on ne dépasse pas la proportion de 5 à 10 p. 100, l'altération de la fonte n'est pas plus sensible que dans le Staffordshire. Plusieurs fondeurs prétendent même qu'il y a plutôt amélioration, ce qui, en effet, ne serait pas

impossible, vu l'état alumineux du minerai et le caractère plutôt siliceux des scories de réchauffage.

Prix de revient des fontes. — Le Cleveland est, de tous les districts du Royaume-Uni, celui dont les conditions économiques, pour la production de la fonte, sont les plus favorables.

Le prix de revient des 1.000 kil. varie, selon les lieux, de 56 à 60 fr.; mais ce prix comprend les intérêts des capitaux engagés, et souvent aussi un certain bénéfice sur les matières premières. Si l'on en retranche ces bénéfices et ces intérêts, on verra qu'en réalité le prix de revient, tel qu'on le calcule dans le pays de Galles, n'est, pour les fontes de forge, pas supérieur à 52 fr.

En 1860, nous avons trouvé, dans l'une des principales usines du Cleveland, le prix de revient détaillé suivant :

	tonnes.		sh.	sh d.
Minerai calciné à 40 p. 100	2.500	à	6	15. 0
Coke	1.600	à	10	16. 0
Custine	0.700	à	4	2.10
Houille pour machine et air chaud	0.500	à	4	2. 0
Main-d'œuvre (non compris celle du grillage et de la carbonisation)				5. 6
Entretien, direction, escompte, etc.				4. 0
Intérêts des capitaux engagés				2, 0
Prix de revient de la tonne de 2.240 liv.				47. 4
Soit les 1.000 kil.				58f,75

Mais ce chiffre, même en dehors des intérêts de capitaux et des bénéfices réalisés sur les matières premières, peut subir des réductions.

Lorsqu'on ajoute 5 à 10 pour 100 de scories de réchauffage et que, de plus, on cherche à produire, en majeure partie, les nos 3 et 4 pour forge, on ne consommera que 1t,40 à 1t,50 de coke au lieu de 1t,60. On économisera donc, à très-peu près, 1 sh. sur le minerai et 1 sh. 6 d. sur le coke, ce qui ramène le prix de revient à 45 sh. la tonne anglaise, ou 56 fr. les 1.000 kil.

Débouchés. — Les fontes du Cleveland sont moins recherchées, pour le moulage, que celles de Glasgow. Elles sont ordinairement cotées à 3 ou 4 sh. de moins.

En juin 1860, les prix de vente étaient, à Middlesboro, sous vergues :

Le n° 1	50.0
Le n° 2	49.6
Le n° 3	48.6
Le n° 4	47.6
Les n°s 5 et 6 (truitée ou blanche).	46.6 à 46 sh.

On ne vend, en général, que les trois numéros supérieurs; les autres sont affinés, dans le pays même, pour rails et fers communs.

Une partie des fontes s'écoule à l'étranger. Dans ces dernières années, l'Allemagne et surtout la Hollande en reçurent la plus forte part; la France vient en troisième ligne. Voici, d'après M. R. Hunt, les exportations du district de Middlesboro :

NOMS DES PAYS.	1856	1857	1858
	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Allemagne........	21.159	20.034	8.331
Hollande.........	9.584	22.840	30.129
France..........	12 598	15.815	8 585
Autres pays.......	6.466	11.211	8.948
Total......	49.807	69.900	55.993

La fonte, ainsi exportée, est en partie affinée pour fer. La France est sans doute destinée à en recevoir des quantités croissantes ; mais, nous le répétons, le fer qui en provient sera toujours de qualité fort ordinaire, surtout cassant à froid, quoique suffisamment bon pour la fabrication des rails. On exporte aussi la fonte sous forme de *fine-metal* blanc lamelleux.

Fontes pour seconde fusion. — Les numéros supérieurs des fontes brutes de Middlesboro sont en majeure partie transformés, dans le pays même, par seconde fusion au

cubilot, en coussinets de chemins de fer et tuyaux de conduite. Une seule usine, celle de MM. Bolckow et Vaughan, fabriquait ainsi par moment jusqu'à 100 tonnes de coussinets par jour. On consomme, pour la seconde fusion, 10 pour 100 de coke, et l'on vend les coussinets 30 sh. en sus de la fonte brute, soit 4 liv., en 1860. Les tuyaux de conduite, 4 liv. 15 sh. à 5 liv. 15 sh., selon leurs dimensions et leurs formes.

Bénéfices. — Les bénéfices des premiers maîtres de forges du Cleveland ont été considérables de 1853 à 1857. Depuis lors la situation a changé, et pourtant les conditions sont encore aujourd'hui plus favorables qu'ailleurs, du moins celles des principales usines, propriétaires de mines de houille et de mines de fer. Aussi, tandis que la production a diminué dans les autres districts, depuis 1857, on constate ici un accroissement continu, sauf une légère réduction, en 1858.

Les deux sous-districts réunis de Middlesboro et Newcastle ont produit en effet :

En 1857	527.600 tonnes.
En 1858	499.800
En 1859	617.966
En 1860	658.679

L'accroissement revient, au reste, en entier aux usines de Middlesboro. Il est évident aussi que la consommation seule limite les produits de ces usines; car, ni les minerais, ni les charbons ne leur feront défaut de longtemps.

CHAPITRE XIX.

SOUS-DISTRICT DU DURHAM (NEWCASTLE).

Conditions générales du district de Newcastle.

Le sous-district du Durham diffère, à plusieurs égards, de celui du Middlesboro.

Supposant *à priori* que le district carbonifère du nord-est

serait aussi riche en minerais de fer que les autres bassins houillers, on y éleva quelques hauts fourneaux, vers l'époque où se développèrent les usines à fer dans le pays de Galles et le Staffordshire. Mais le fer carbonaté lithoïde faisant défaut, presque tous ces hauts fourneaux durent rester en chômage. Leur situation ne se modifia que lors de la découverte du minerai liasique dans les collines du Cleveland, et lorsque, par les chemins de fer, on put y amener en outre les *red-ores* du Cumberland, et les hématites brunes ou fers spathiques du calcaire carbonifère.

Par le fait de cette situation, le minerai y est plus cher que dans les usines de Middlesboro, mais, par compensation, on a la houille sur place. Aussi, en définitive, sous le rapport du prix de revient de la fonte, la différence est peu considérable. Seulement, cette fonte doit être élaborée sur place ; car, amenée brute aux ports de mer, elle ne pourrait supporter la lutte avec celle de Middlesboro.

Les usines du sous-district de Newcastle sont dispersées sur toute l'étendue du bassin houiller, et non concentrées, comme celles du Cleveland, autour d'un centre unique.

Usines : — 1° *Du Northumberland.* — Il en existe un certain nombre le long de la Tyne, auprès de Newcastle même, ou plus au nord dans le Northumberland ; mais ces établissements sont peu importants et trop éloignés des mines de fer pour prospérer ; aussi, sur 18 hauts fourneaux, appartenant à 8 usines distinctes, six seulement étaient en activité en 1858, et leur production n'a pas dépassé 45.000 tonnes.

2° *Du Durham.* — Entre la Tyne et la Tees, dans le Durham même, se trouvent trois établissements principaux ; ce sont, en allant du nord au sud, les usines de la *Derwent Iron Company*, celles de la *Weardale Iron Company*, et *Witton-Park*, appartenant à MM. Bolckow et Vaughan, les heureux propriétaires de la mine de fer d'Eston.

3° *De la* Derwent Iron Company. — La *Derwent Iron*

Company possède 18 hauts fourneaux et une grande forge de 84 fours de puddlage, pour rails, gros fers et tôles communes. Le tout constitue trois usines distinctes voisines de *Shotley bridge; Bradley*, *Crook-Hall* et *Consett* (1). La plus ancienne, celle de Consett, avait été établie non loin de la lisière ouest du bassin houiller, dans l'espoir de trouver, à la base du terrain, du minerai lithoïde. Cette attente fut déçue, comme on sait, et la compagnie ruinée. Aujourd'hui, les trois usines marchent, grâce au minerai liasique du Cleveland; mais leur position est difficile depuis 1858, à cause de l'éloignement de la mer. En 1860, sur 18 hauts fourneaux, 11 seulement étaient en feu.

La compagnie possède elle-même des mines de houille, et nous avons fait connaître précédemment le prix du tout-venant et du coke. Ces mines renferment des rognons de fer carbonaté lithoïde, mais on ne peut les exploiter que lorsqu'ils se trouvent au toit immédiat des couches de houille. Les hauts fourneaux n'en reçoivent pas 15.000 tonnes sur un poids total de 200 à 250.000 tonnes de minerais divers fondus annuellement. Le carbonate houiller, ainsi abattu avec le charbon, coûte 8 sh.

Le *red-ore* du Cumberland revient à 20 sh. rendu à l'usine; les frais de transport sont de 8 sh. pour un parcours par railway de 120 milles. Les usines de Derwent en fondent annuellement au plus 25 à 30.000 tonnes, mais paraissent destinées à en recevoir davantage à l'avenir. Nous mentionnons pour mémoire l'hématite brune du calcaire carbonifère. On l'emploie en petites quantités parce qu'elle est pauvre, eu égard à son prix de 11 sh. la tonne. D'après cela, les quatre cinquièmes au moins des minerais fondus dans les hauts fourneaux de la *Derwent Iron Com-*

---

(1) *Consett* fut bâtie en 1841; les deux autres établissements, après la découverte du minerai liasique : *Crook-Hall* en 1850 et *Bradley* en 1854.

pany proviennent des mines du Cleveland. La distance est de 45 à 50 milles, les frais de transport de 3 sh. 9 d.; par suite le minerai calciné y revient à 9 sh.

Le profil et l'allure des hauts fourneaux de Derwent ne diffèrent guère de ceux de Middlesboro. On marche généralement en fonte grise. Cependant quelques hauts fourneaux reçoivent, en proportion élevée, des scories de forge, et fournissent alors, comme les usines du pays de Galles, des fontes blanches plus ou moins grenues. La production normale est de 20 tonnes par haut fourneau, lorsqu'on charge uniquement des minerais du Cleveland; 25 à 26 tonnes lorsqu'on ajoute un quart à un tiers d'hématite rouge; et au delà de 30 tonnes quand on charge 20 à 30 p. 100 de scories de forge. On conçoit, d'après cela, que la qualité, comme le prix de revient de la fonte, doit varier entre des limites assez larges.

Prix de revient. — Lorsqu'on fond le minerai liasique seul, le prix de revient se compose des éléments suivants :

		sh.	sh. d.
Minerai calciné	2,500	à 9.	22.6
Coke	1,600	à 8.	12.9
Castine	0,700	à 1.10	1.3
Houille pour machine et air chaud	0,500	à 2.	1.0
Main-d'œuvre			5.6
Frais généraux, intérêts compris			5.0
Prix de revient			48.0

D'après cela, les conditions sont un peu moins favorables qu'à Middlesboro; et comme on a, de plus, les frais de transport jusqu'à la mer (4 sh. 6 d. par tonne), on voit que l'exportation, en concurrence avec Middlesboro, est à peu près impossible dans les circonstances présentes. Il faut donc ou élaborer la fonte sur place ou abaisser le prix de revient par des additions de scories. On a recours à la fois aux deux systèmes; aussi, en 1859, sur une production de fonte de 80 à 90.000 tonnes, on a fabriqué 25.000 tonnes

de rails, 13.000 tonnes de grosse tôle et 4.000 tonnes de fer en barres. Pas plus qu'à Middlesboro, on ne fait du petit fer.

4° *De la* Weardale Iron Company.— La *Weardale Iron Company* possède quatre usines, toutes de dates très-récentes : 5 hauts fourneaux à Towlaw près de Weardale; 1 haut fourneau à Stanhope ; 2 hauts fourneaux à Ferry-Hill, en construction en 1860. Enfin une grande forge de 64 fours de puddlage, bâtie vers 1853 à Tudhoë, près de Ferry-Hill. Ces usines sont dans des conditions de fabrication tout à fait spéciales. La compagnie de Weardale traite, dans ses hauts fourneaux de Towlaw, les fers spathiques et les hématites brunes des plateaux de Weardale, Allenhead, Alstonmoor, etc. (1). Elle a le monopole de tous les minerais provenant des terres du prince-évêque de Durham. Nous avons donné leur analyse dans la première partie. On sait qu'ils sont très-manganésifères, sans phosphore et presque sans soufre. L'alumine y entre pour moins de 1 o/o. On fond en outre des *red ores*, et seulement accessoirement les minerais du Cleveland. On conçoit, d'après cela, que les fontes de Towlaw doivent spécialement convenir pour la fabrication du fer. Elles sont blanches, lamelleuses et faciles à affiner. Sans doute leur prix de revient surpasse d'environ 20 sh. celui des fontes ordinaires du Cleveland, mais aussi on peut les affiner pour fers fins et tôles minces, supérieurs aux meilleurs fers du Staffordshire ; et même, en appliquant le procédé de Lowmoor, on obtient des produits qui ne le cèdent en rien à ceux de cette usine.

Les fontes de *Towlaw* sont aussi, à *Tudhoë*, puddlées pour acier; et, à l'époque de notre visite, on y installait un

(1) Ces minerais proviennent de filons qui occupent dans le calcaire carbonifère une zone de 20 milles de longueur sur 4 à 5 milles de largeur. La distance moyenne des mines aux hauts fourneaux est de 10 à 12 milles.

appareil Bessemer, après avoir constaté, à Sheffield même, qu'elles peuvent donner, par ce procédé, de bon acier fondu.

La compagnie de Weardale vend peu de fontes. Presque tout ce qu'elle produit est transformé en fer dans sa belle forge de Tudhoë, l'une des mieux installées que nous ayons vues en Angleterre. On peut y produire par an 30.000 tonnes de fer, et, dans ces dernières années, outre les fers fins, on y a fabriqué aussi des rails supérieurs, pour la Russie, payés 8 liv. st. 10 sh. la tonne.

5° *De Witton Park.* — L'usine de *Witton Park*, dans la vallée de la Wear, en amont de *Bishop-Aukland*, appartient à MM. Bolckow et Vaughan. Cette usine, bâtie depuis la découverte du minerai du Cleveland, se compose de 4 hauts fourneaux et d'une grande forge (1). On y fond exclusivement du minerai liasique. Située à 34 milles des mines de fer, le minerai y coûte environ 1 sh. de moins qu'à Consett, et comme le coke est à peu près au même prix, la fonte grise ordinaire n'y coûte guère plus de 46 sh. C'est un peu moins qu'à Middlesboro, mais on a 3 sh. de transport jusqu'à la mer. Il faut donc là aussi affiner la fonte sur place, ce qui se fait d'ailleurs, grâce au voisinage des mines de houille, dans de meilleures conditions qu'à Middlesboro.

Outre les 30 hauts fourneaux des trois sociétés de Derwent, Weardale et Witton Park, le Durham renferme encore 5 autres usines avec 10 hauts fourneaux, sans compter les 16 de la rive gauche de la Tees, que nous avons réunis au district de Middlesboro. Sur les 6 à 700.000 tonnes de fonte, que les deux sous-districts réunis de Newcastle et de Middlesboro produisent actuellement par année, environ 200.000 tonnes proviennent du premier.

(1) Les deux forges de MM. Bolckow et Vaughan, celle de *Middlesboro* et celle de *Witton Park*, renferment ensemble 150 fours de puddlage; elles peuvent livrer par an près de 80.000 tonnes de fer.

CHAPITRE XX.

SOUS-DISTRICT DU CUMBERLAND ET NORTH-LANCASHIRE.

Quelques mots seulement sur ce troisième district qui est en quelque sorte encore à l'état naissant. On connaît ses minerais, l'hématite rouge (*red-ore*); et nous avons parlé de son bassin houiller, qui longe la mer depuis Whitehaven jusqu'à Maryport. Jusque dans ces dernières années, presque tout le minerai de ces contrées a été exporté dans les autres districts. En 1858, il n'y avait encore que 4 hauts fourneaux dans le Lancashire, dont 1 au bois, et 9 dans le Cumberland. De ces 13 hauts fourneaux, 7 seulement étaient alors en feu et leur production totale n'était pas de 30.000 tonnes.

Depuis lors un grand établissement de 6 hauts fourneaux a été créé près du port de Barrow, dans le North-Lancashire, là où l'on embarque pour le South-Wales les *red-ores* de ce district. D'autre part, dans le Cumberland, les deux anciennes usines de *Cleator-Moor* et de *Workington* se développent aussi.

Le minerai de ces contrées ne renferme ni soufre ni phosphore, et très-peu d'alumine. Il convient donc spécialement pour la fabrication de la fonte de forge, et c'est elle surtout que l'on affine aujourd'hui pour acier commun, par le procédé Bessemer, dans l'usine de Sheffield. C'est avec cet acier fondu que l'on fabrique des tôles de chaudières et des rails pour croisières.

La fonte est obtenue à l'air chaud et coûte aujourd'hui, à l'usine de Barrow, moins de 3 liv. st. la tonne. Grâces à ce nouveau mode d'affinage pour acier fondu, et grâces surtout à la pureté de la fonte, le district du Cumberland est certainement destiné à se développer largement, si toutefois la faible étendue du bassin houiller n'y met

obstacle. Déjà on constate un accroissement notable sur la production de la fonte. D'après M. R. Hunt :

	En 1859. tonnes.	En 1860. tonnes.
Le Lancashire a fourni	26.491	81.250
Le Cumberland	50.097	87.750
Production totale du district	76.588	169.000

TROISIÈME PARTIE.

AFFINAGE DE LA FONTE. — FABRICATION DES FERS MARCHANDS.

PREMIÈRE SECTION.

Considérations générales.

Questions traitées dans cette troisième partie. — Malgré les développements rapides de la consommation des fers profilés, des tôles et autres fers spéciaux, la fabrication des barres marchandes occupe encore aujourd'hui un rang important dans l'industrie des forges. Cette troisième partie de notre travail renfermera ce qui concerne particulièrement les fers en barres ; mais nous y traiterons en même temps, d'une manière générale, les questions de l'affinage des fontes et du travail mécanique du fer, de façon à n'y plus revenir que sommairement dans la partie consacrée aux fers spéciaux.

Nous n'aurons à signaler que peu de progrès économiques dans les procédés de fabrication des fers en barres depuis vingt-cinq ou trente ans. Déjà dans la deuxième partie de notre travail nous avons fait voir que c'est principalement sur la fabrication de la fonte que porte la réduction obtenue, depuis cette époque, dans la consommation totale de houille par tonne de fer marchand. C'est

généralement aussi, nous le verrons plus tard, dans l'abaissement du prix des fontes qu'on a surtout cherché l'amélioration du prix de revient des fers, souvent même au risque d'en compromettre la qualité.

Négligeant donc pour le moment le côté économique des procédés anglais, nous nous attacherons d'abord à leur examen sous le rapport de la qualité des produits.

La fabrication du fer à la houille s'est développée chez nos voisins avec des caractères qui ne sont pas généralement connus en France : il suffit, pour s'en convaincre, de lire, dans l'enquête relative au traité de commerce avec l'Angleterre, les dépositions assez contradictoires qui se sont produites sur la qualité des fers anglais. On ne trouve même dans le *Voyage métallurgique* que des indications générales sur ce sujet. Soit qu'à cette époque les procédés fussent plus uniformes, soit que leur diversité ait échappé aux auteurs de ce travail, il n'en ressort pas assez combien la méthode anglaise varie ses moyens de fabrication, c'est-à-dire combien elle peut varier la qualité de ses produits. Et pourtant l'examen de la méthode à ce point de vue emprunte une grande importance aux faits suivants.

Une fois les hauts fourneaux au charbon de bois éteints, la consommation intérieure du Royaume-Uni s'est alimentée presque exclusivement de fers au combustible minéral. L'importation annuelle ne dépasse pas, en effet, 50.000 tonnes de barres étrangères : la majeure partie, sinon la totalité de cette importation, consiste en fers au bois, de Suède principalement, destinés soit à la réexportation, soit à la fabrication des aciers. Le reste est livré à la tréfilerie de choix, à la construction des machines, etc., etc.

On voit par là combien l'approvisionnement en fers au bois est insignifiant vis-à-vis de la consommation totale de l'Angleterre. Voilà donc le pays le plus avancé dans l'emploi du fer qui non-seulement ne produit plus de fers au bois, mais encore en consomme moins que beaucoup d'autres

contrées, moins que la France, à coup sûr. Et cependant les usages du fer sont les mêmes en Angleterre qu'en France ou ailleurs.

Certains emplois nouveaux, plus fréquents peut-être chez les Anglais que chez nous, comportent, il est vrai, des qualités inférieures : c'est là un débouché croissant ouvert aux fers communs à la houille. Mais il n'en est pas moins constant que nos voisins appliquent souvent le fer au combustible minéral là où nous continuons à exiger du fer au bois.

Qu'en conclure ? — Ou que les constructions, machines et appareils en fer, de fabrication anglaise, sont de qualité inférieure aux similaires du continent ; — ou bien que les procédés au combustible minéral ont réalisé, dans le Royaume-Uni, des progrès mieux appréciés que chez nous.

La vérité, pour nous, est entre ces deux opinions.

Nos ouvrages en fer au bois sont certainement supérieurs à la plupart des similaires anglais en fers à la houille. Mais il est également certain que, soignée dans quelques-unes de ses manipulations, la fabrication à la houille peut donner des produits comparables à beaucoup de fers au bois du continent En outre, sans viser à ces hautes qualités, en définitive assez rares en Angleterre, la fabrication à la houille dispose de moyens d'amélioration qui suffisent à des consommateurs enseignés de bonne heure à ne demander à un produit que la qualité justement nécessaire à ses usages.

Quels sont ces moyens d'amélioration ? L'intérêt de cette recherche est d'autant plus grand que les matières premières, les minerais notamment, dont dispose l'industrie anglaise, sont, on l'a vu précédemment, assez uniformes et généralement inférieurs à beaucoup des nôtres. Mais cette uniformité même rend plus facile la comparaison des procédés quant à leur influence sur la qualité des produits.

Pour résoudre cette question, nous rappellerons d'abord les principes généraux de l'affinage des fontes et du travail mécanique du fer. Après cela, nous montrerons comment

la pratique anglaise s'est conformée à ces principes dans le choix de ses procédés de fabrication. Alors s'expliqueront aisément les différences qu'on observe entre les divers groupes de forges anglaises, sous le rapport de la qualité des fers.

CHAPITRE PREMIER.

§ I. *Principes généraux de l'affinage.*

La transformation de la fonte en fer n'est qu'un cas particulier de l'affinage des régules ou alliages métalliques, opération où il s'agit presque toujours d'extraire l'élément prédominant à l'état de pureté aussi parfaite que possible. L'affinage est ainsi une opération chimique complémentaire des élaborations qui ont donné l'alliage; et le produit affiné dépend forcément de la nature spéciale de cet alliage.

Dans le cas particulier du fer, il importe de savoir au haut fourneau ce qu'on tient à obtenir au foyer d'affinage: il faut répartir entre les deux opérations les soins qui doivent assurer la qualité du produit définitif.

Pour réussir, l'affinage, comme toute opération chimique, réclame le contact intime du régule et des réactifs appelés à l'épurer. Cette intimité n'est possible, à son tour, que si les matières en réaction sont d'abord réduites à un degré de fluidité convenable, et cette manipulation, enfin, exige presque toujours leur liquéfaction préalable.

D'un autre côté, c'est sur les différences d'oxydabilité des éléments du régule que s'appuient, d'ordinaire, les réactions de l'affinage.

Cette opération devient ainsi une fusion oxydante du régule avec ou sans addition de réactifs étrangers.

Tantôt, exposée à la double influence de la chaleur et de l'air, une portion de l'alliage s'oxyde et constitue, en fondant, une scorie qui suffit à parachever l'affinage.

Tantôt, la scorie ainsi produite est trop peu fusible et trop peu fluide pour pénétrer convenablement le régule fondu ou ramolli, ou bien ne renferme pas elle-même les éléments propres à l'affinage. On la modifie dès lors par des additions appropriées.

Ces principes se retrouvent dans quelque affinage que ce soit. Mais, selon la nature de l'alliage à traiter, il convient ensuite, si l'on tient à la qualité du produit, de hâter ou de retarder le travail, de le pratiquer en une ou en plusieurs opérations.

A ce point de vue, on peut distinguer les éléments des régules métalliques en trois sortes :

1° Les corps qui, en petites doses, n'altèrent pas notablement la qualité du produit cherché, ou qui, malgré une affinité toute spéciale pour le métal, s'en peuvent toujours extraire complétement à la fin de l'opération. Ces propriétés et surtout l'affinité particulière de ces éléments pour le métal permettront souvent de retarder l'affinage définitif, tout en facilitant l'expulsion préalable des autres corps.

2° Les composants qui, par eux-mêmes ou par leurs combinaisons oxydées, ont des affinités supérieures à celles du métal lui-même pour les impuretés de l'alliage. Ces corps, partie intégrante du régule, deviennent d'excellents réactifs d'épuration directe, en tous cas bien supérieurs à ceux qu'on introduirait comme matières additionnelles.

3° Les éléments qui n'offrent aucune des affinités nettes, tranchées, dont il vient d'être parlé, ou qui, s'alliant, au contraire, trop énergiquement au métal, s'en séparent difficilement et altèrent outre mesure ses propriétés essentielles.

Exemples de réactions d'affinage. — Précisons par quelques exemples les modes d'action de ces trois sortes de composants :

1° *a.* L'affinité du soufre par le cuivre permet de concentrer ce métal dans certains régules qui ne renferment

plus guère que ces deux corps : ils donnent, par une dernière opération, un métal convenablement épuré.

b. Le carbone paraît jouer un rôle tout semblable par rapport au fer, dans l'affinage de la fonte.

2° *a.* Le fer et le plomb, en doses convenables dans certains alliages cuivreux, en facilitent l'épuration, à cause de la nature de leurs oxydes : bases énergiques, réductibles ou fondantes.

b. Le manganèse des fontes, par sa tendance à se combiner à l'oxygène et au soufre, et par l'affinité de son protoxyde pour les acides fixes (silicique et phosphorique) produit, dans l'épuration des fontes, des effets analogues à ceux du fer et du plomb dans l'affinage du cuivre.

3° *a.* Par leurs affinités très-grandes pour le cuivre, l'arsenic et l'antimoine y persistent, aggravant beaucoup les difficultés de l'épuration.

b. Le phosphore, l'arsenic et le soufre se comportent de la même façon vis-à-vis du fer.

Principe des affinages progressifs.— Lorsque des minerais traités par un procédé convenable de première fusion, donnent un régule chargé surtout des deux premières sortes d'éléments, une simple fusion oxydante, sans réactifs étrangers, suffira en général comme affinage. Bien que rapide, l'opération donnera un produit à peu près parfait.

Lorsqu'au contraire, des matières moins bien choisies, un procédé de première fusion mal conduit, fournissent un alliage où prédominent les composants de la troisième sorte, toutes les difficultés se réunissent à l'affinage contre la pureté du produit. Au lieu d'un affinage rapide, il le faut alors lentement progressif ; peut-être même faudra-t-il diviser l'opération en plusieurs autres, dans chacune desquelles des additions appropriées expulseront peu à peu les éléments de la troisième sorte, préparant ainsi, par une dernière manipulation, l'extraction d'un métal convenablement épuré.

L'excellence de ces affinages progressifs est démontrée à chaque pas de la métallurgie du cuivre.

Mais si, dans ce cas, le haut prix du métal supporte aisément les frais multipliés qu'entraînent ces élaborations répétées, il n'en est plus de même du fer. Les limites dans lesquelles se peut poursuivre l'épuration d'un alliage souillé de matières étrangères sont beaucoup plus étroites pour le second que pour le premier de ces deux métaux. Il faut en conclure que la nature des matières premières exercera toujours sur la qualité des produits une influence plus décisive dans le second cas que dans le premier.

Encore quelques mots sur un point commun aux diverses opérations d'affinage.

L'affinage est outre-passé, si, après le départ des diverses impuretés, le produit reste encore exposé à une action trop prolongée des réactifs oxydants, et plus particulièrement de l'air. Une partie de l'oxyde reste ou dissous dans le métal, comme dans le cas du cuivre, ou simplement mélangé à l'état solide, comme dans le cas du fer ; il est, en tout cas, fort nuisible à la qualité du produit définitif, si des moyens complémentaires ne l'en expulsent absolument. Dans le cas particulier du fer, le métal ainsi suroxydé ou brûlé reprend sa qualité première par une chaude suante, dans un bain de scories bien liquide (1).

Différences entre l'affinage de la fonte et celui des autres métaux. — Avec l'apparition du métal affiné cesse la similitude des procédés appliqués à la fonte et aux autres régules métalliques. Les autres métaux, fusibles à des températures faciles à atteindre dans les foyers métallurgiques, sont, par le coup de feu qui termine l'affinage, absolument et nettement séparés des scories de l'opération. Le fer, au contraire, à peine ramollissable dans les fourneaux dont nous disposons

(1) *Karsten*, édition 1824. — Traduction française, tome I, p. 80.

aujourd'hui, s'extrait du foyer d'affinage à l'état de masse solide, spongieuse, imprégnée de scories. Les premiers se moulent à l'état liquide; il ne reste plus, après refroidissement des lingots, qu'à les serrer et profiler. Le second doit subir des élaborations mécaniques répétées, avant d'offrir la continuité et l'homogénéité que réclament ses usages. Le procédé Bessemer fait pourtant disparaître ces inconvénients.

Ces différences capitales entre l'affinage de la fonte et celui des autres alliages métalliques font que, pour juger de la perfection du premier, on doit tenir grand compte du mode de travail mécanique appliqué au fer brut pour le transformer en produit fini. Enfin si, dans tous les affinages, la liquidité des scories est nécessaire vers la fin de l'opération, elle est surtout indispensable dans le travail de la fonte, car c'est d'elle en grande partie que dépend le succès du travail ultérieur du fer.

Principes de l'affinage des fontes. — Résumant ce qui précède, en ce qui concerne l'affinage des fontes, on en déduit aisément quelques règles fondamentales:

1° Avant de rien attendre du procédé d'affinage, demander le plus possible au travail du haut fourneau, sous le rapport de la qualité. Des raisons économiques s'opposeront presque toujours, en effet, à ce qu'on multiplie les opérations de l'affinage assez pour tirer d'une mauvaise fonte un fer parfait.

2° Si, par ces raisons, l'affinage doit se faire en une seule opération, qu'il soit néanmoins progressif; que l'épuration y précède la décarburation de la fonte.

3° Les fontes, comme les scories d'affinage, doivent être fusibles et susceptibles d'une grande fluidité.

4° L'appareil où s'exécute l'opération doit faciliter à l'ouvrier la surveillance du bain d'affinage et lui permettre de le modifier à coup sûr par des additions convenables; d'y maintenir surtout, vers la fin du travail, la liquidité parfaite

des scories et de juger enfin l'allure de l'affinage pour ne le point outre-passer.

§ 2. *Principes généraux du travail mécanique du fer.*

But du cinglage. — La masse spongieuse de fer brut (la loupe), à sa sortie du fourneau d'affinage, se compose de particules métalliques disjointes par l'interposition de scories qu'il faut expulser avant leur refroidissement. C'est le premier travail mécanique à faire, et pour lequel le meilleur moyen usité jusqu'ici est la compression de la masse encore chaude, le *cinglage* de la loupe.

Après l'expulsion des scories, la compression produit sur la loupe un autre résultat : aidée de la soudabilité du fer, elle agglomère les parties d'abord disjointes ; elle donne au métal la *densité*, propriété physique dans laquelle se résument toutes les autres et particulièrement la *ténacité*.

Obtenir, dans une loupe de fer spongieux, le même degré de propreté et d'homogénéité que la fusion détermine dans les lingots de métaux fusibles, tel est le but essentiel que doit se proposer un bon *cinglage*.

Des particules uniformément affinées, également chaudes et enveloppées d'un laitier fluide ; un outil de cinglage dont tout le travail tendra au rapprochement des parties métalliques et peu ou point à leur écartement ou à leur étirage : voilà les conditions les plus favorables à la perfection de ce travail.

Dans cette première partie de l'élaboration mécanique du fer, on vise donc à la condensation de la matière métallique et l'on doit éviter l'étirage.

But et conditions de l'étirage. — Il n'en est plus de même quand il s'agit de profiler le fer, de transformer un lopin cinglé en une barre d'une certaine longueur et d'une section déterminée.

Cette opération est nécessairement accompagnée d'un *étirage* ou d'un travail des molécules par extension ; travail qui,

à son tour, produit une diminution de continuité et de densité, c'est-à-dire, une réduction de ténacité. Il faut que l'appareil d'étirage corrige cette fâcheuse tendance par une compression latérale, ou mieux transversale à l'allongement du métal; autrement le fer perd nécessairement de sa force pendant le profilage.

C'est dire que si l'on veut de la ténacité dans les barres, il ne faut les étirer ou profiler qu'après un *cinglage* ou un *soudage* parfait, surtout quand l'appareil d'étirage n'est capable que d'une compression transversale limitée.

Tout cela se rapporte au cas d'une loupe de fer brut qu'on extrait isolément du foyer d'affinage et qu'on élabore directement pour barre marchande. Ce n'est point là le procédé habituel des méthodes au combustible minéral : d'un lopin, bien ou mal cinglé, elles font une barre brute dont les tronçons cisaillés sont mis en trousses. Ces trousses, amenées au blanc soudant, sont comprimées ou soudées, puis finalement étirées sur profils déterminés. Elles subissent ainsi le même ensemble d'élaborations que les loupes brutes; mais il est aisé de voir qu'il est encore plus difficile d'atteindre au maximum de densité des barres, avec les trousses qu'avec les loupes brutes.

Difficultés spéciales du soudage. — La soudabilité du fer est toujours le point de départ de ces élaborations. Or on sait que le fer devient moins soudable à mesure qu'il est plus forgé, plus travaillé. La présence de quelques dix-millièmes de carbone, de phosphore et de silicium semble nécessaire à la perfection du soudage des mises dont se compose une trousse; non que ces substances favorisent par elles-mêmes le soudage du fer, mais parce qu'elles facilitent la réduction ou la fusion de l'oxyde de fer. Ce qui s'oppose, en effet, le plus au soudage des barres, c'est l'interposition de l'oxyde ferreux infusible; c'est là ce qu'on a principalement à craindre des chaudes successives : le fer *se dessèche*, terme d'atelier aussi juste qu'expressif. Par ce

motif, les barres d'une trousse se soudent moins facilement que les grains agglomérés d'une loupe brute.

Effet de réchauffage. — On sait par les analyses de MM. Johnston et Calvert (1) que le départ des métalloïdes se continue pendant le cinglage et le réchauffage du fer brut. Or ce départ ne peut se faire que par la réaction des métalloïdes sur l'oxyde de fer produit pendant le réchauffage : le carbone réduit l'oxyde ; le silicium et le phosphore en réduisent une partie et fondent le reste après s'être acidifiés. Le soufre seul ne s'élimine pas par le protoxyde de fer ; mais lorsque le fer est en partie suroxydé, ce qui est toujours le cas des battitures, alors le soufre lui-même se brûle, en ramenant l'oxyde supérieur au protoxyde (2). Ainsi donc, par suite de *cette réaction réductrice et fondante* des métalloïdes, le fer en barres incomplétement affiné (*fer jeune*) se soude mieux que le fer entièrement dépouillé de substances étrangères et plus ou moins couvert de battitures. L'action fondante des acides phosphorique et silicique, générés au contact des mises, est préférable à celle du sable quartzeux qu'on projette à la surface des paquets pour opérer le départ des battitures. Cette dernière pratique est d'ailleurs dangereuse, parce que des grains de quartz peuvent rester, non combinés, au milieu du fer.

Il vaut donc mieux pour le soudage que le fer soit *un peu jeune;* d'autre part, cependant, la proportion des métalloïdes ne doit pas être *trop forte*, car alors le fer, imparfaitement affiné, reste *tendre* à chaud comme à froid et ne pourrait même plus se travailler.

Réchauffage des trousses. — Le soudage des *paquets* comporte une autre cause d'insuccès ; c'est la difficulté de chauffer à cœur et uniformément des volumes aussi considérables qu'en offre quelquefois la fabrication. En petits

---

(1) *Annales de physique et de chimie.* Avril 1858.

(2) Tome II des *Essais par voie sèche* de M. Berthier, page 191.

échantillons, la difficulté, pour être moindre, n'en subsiste pas moins : on peut dire que jamais les mises d'une trousse n'ont, au moment du soudage, l'uniformité de température qu'offrent les parties d'une loupe brute.

Cas de trousses hétérogènes. — Si nous poussions plus loin cet examen, ce serait pour montrer que toutes ces difficultés s'aggravent encore et rapidement dans les cas où, à des barres brutes, de même degré d'élaboration, on substitue dans les paquets soit uniquement du fer déjà plusieurs fois corroyé, soit des mises mélangées de brut et de corroyé.

C'est, sans contredit, à ces difficultés qu'il faut attribuer l'idée, aujourd'hui en cours d'application en Angleterre comme sur le continent, de limiter l'affinage de la fonte, ou de cémenter le fer, de façon à conserver au produit une fusibilité abordable, puis de le fondre pour lingots aussi homogènes que possible, *homogeneous metal* des Anglais, *aciers doux fondus* du continent. Tel est aussi le but du procédé Bessemer.

Principes du travail mécanique du fer. — Mais en ne considérant, pour l'instant, que les procédés ordinaires des forges, on conclura, de ce qui précède, que les prescriptions indiquées ci-dessus comme nécessaires au travail mécanique des loupes, le sont pour le moins autant dans les différents cas du travail en trousses. Elles se résument ainsi qu'il suit :

1° La compression et le soudage doivent précéder le profilage, c'est-à-dire que le fer, autant que possible épuré de ses scories, doit acquérir *sa densité maximum* avant de tendre à sa forme définitive.

2° L'expulsion des scories, qui ne saurait être complète, n'est satisfaisante, même avec les meilleurs outils de compression, qu'autant qu'elles sont et demeurent fusibles ici comme dans l'affinage.

3° Une nature de fer *un peu jeune*, retenant des traces

de silicium, phosphore et carbone, favorisera le soudage, pourvu que ces substances ne soient pas en proportions assez fortes pour compromettre la ténacité du produit. Un pareil fer renferme effectivement les éléments les plus propres au décapage des parties métalliques.

4° Quant au profilage, de tous les appareils qu'on peut y appliquer, le meilleur sera celui qui, tout en étirant le fer dans une certaine direction, le comprimera transversalement assez pour qu'il ne perde pas notablement de sa densité par l'étirage.

CHAPITRE II.

MOYENS GÉNÉRAUX APPLIQUÉS EN ANGLETERRE A L'AFFINAGE DES FONTES ET AU TRAVAIL MÉCANIQUE DU FER.

§ 1. *Procédés d'affinage des fontes.*

L'affinage se fait en Angleterre soit *au réverbère*, soit *au petit foyer*.

La première méthode est la méthode anglaise proprement dite : elle est naturellement de beaucoup la plus répandue aujourd'hui. Elle procède tantôt en une seule, tantôt en deux opérations. L'affinage en une opération comprend deux variétés ; l'une le *boiling process* et l'autre le *puddling process*. L'affinage en deux opérations, quoique désigné par un seul nom (*refining and puddling process*), comprend également deux variétés, suivant que le mazéage (*refining*) produit du fine-metal, *lamelleux* ou *caverneux*.

La première m thode ne comprend donc pas moins de quatre formules de travail.

La *deuxième* pratique l'affinage progressif en deux opérations : l'une, le mazéage, dans une finerie au coke ; l'autre, l'affinage proprement dit, dans un bas foyer au charbon de bois, évidemment emprunté aux méthodes allemandes.

I. *Procédé dit boiling process.* — Ce premier mode d'affinage en une seule opération correspond au procédé connu chez nous sous le nom de *puddlage chaud, en crasses ou en bouillon.*

Le travail s'y divise en trois périodes principales :

1° Fusion complète de la fonte, sur sole en riblons brûlés ou en minerai riche, ou plus fréquemment sur *scories de forge liquatées* (1);

2° Brassage des deux couches liquides (fonte et scories), sans effervescence d'abord, puis avec effervescence tumultueuse;

3° Soulèvement de la masse ferreuse et confection des loupes.

Avantages de ce procédé. — Ce procédé paraît s'être répandu en Angleterre, principalement après *les voyages métallurgiques* de MM. Élie de Beaumont, Dufrénoy, etc. (2). C'est le même, à très-peu près, qu'on applique, sur le continent, aux fontes au bois puddlées pour fers à grains ou aciers naturels. L'attention dont il a été l'objet, depuis l'introduction de l'acier puddlé surtout, a provoqué en Angleterre, en France et en Allemagne, des recherches qui en ont suffisamment démontré les avantages. Rappelons-les rapidement.

Appliqué à des fontes brutes ou mazées, susceptibles de devenir parfaitement liquides, ce procédé satisfait pleinement à deux des conditions générales posées plus haut : l'épuration y précède la décarburation ; les matières liquides y sont en contact parfait.

En second lieu, ce procédé se prête aisément aux modifications des scories par réactifs additionnels; l'ou-

(1) Voyez 2e section, chapitre 1er, § 1, à l'article fours à puddler.

(2) On ne trouve effectivement qu'une vague indication sur ce sujet : page 99 de la 2e édition du *Voyage métallurgique en Angleterre.*

vrier y suit des yeux l'état du bain d'affinage; il est maître de la liquidité comme de la capacité épurante ou décarburante des scories.

Rien d'ailleurs de plus facile que la limitation du degré d'affinage, à partir de l'instant, où le métal s'agglutine sous le ringard, au milieu des scories.

L'obtention d'un fer dur, à grain aciéreux et homogène, ou d'un fer mou, uniformément affiné, n'est plus qu'une affaire de tour de main des plus simples.

La destination du produit règle ordinairement la durée et la conduite de l'affinage. Toutefois, la plupart des forges anglaises produisent, par cette méthode, un fer *un peu jeune et aciéreux*, comme l'attestent les nombreuses flammèches bleuâtres que les loupes dégagent au cinglage.

Avantage particulier d'un soulèvement de durée réduite. — Cette pratique abrége naturellement la dernière période du puddlage, c'est-à-dire le soulèvement du fer au milieu du courant de flammes oxydantes qui traversent le fourneau.

Il en résulte un avantage fort important, au point de vue des élaborations ultérieures du métal, à savoir : la conservation d'une fluidité plus grande dans les scories.

La fusibilité de celles-ci décroît, en effet, à mesure que leur teneur en oxyde de fer dépasse la proportion correspondant à une formule intermédiaire entre celle du protosilicate et du silicate bibasique. Or les soulèvements répétés qu'exige l'affinage complet occasionnent une production considérable d'oxyde de fer; la basicité des scories s'accroît rapidement, c'est-à-dire que leur fluidité diminue d'autant.

Dans ce cas, encore, les scories éprouvent une autre modification d'un séjour trop prolongé sur la sole : *elles se suroxydent*, soit que leur oxydule de fer se transforme en peroxyde sous l'influence des gaz oxydants, soit que les battitures, produits de la combustion directe du métal, se

dissolvent de toutes pièces dans ces silicates (1). Inutile de montrer que cette suroxydation accroît encore la basicité des scories.

Les deux causes se réunissent ainsi, vers la fin d'un soulèvement prolongé, pour amoindrir la fluidité des scories, c'est-à-dire pour compromettre la propreté ultérieure du fer.

C'est là, pour le dire en passent, un trait du puddlage qui explique une bonne partie des différences observées entre l'affinage au réverbère et celui au petit foyer.

Ainsi l'affinage en fer jeune, aciéreux, recommandé précédemment au point de vue de la soudure, offre encore l'avantage de donner des loupes plus faciles à épurer de leurs scories. Le procédé qui nous occupe produit, en effet, quand il est appliqué avec soin, des barres brutes d'une propreté et d'une netteté relativement très-grandes.

---

(1) L'un de nous, dans ses Recherches sur les réactions de l'affinage (*Annales des mines*, 5e série, tome XV), avait observé la présence constante du peroxyde de fer parmi les éléments des scories. Plus récemment, M. le docteur List, professeur à Hagen, a déterminé exactement les proportions de peroxyde de fer contenues dans ces silicates, aux diverses périodes de l'affinage (*).

Ces proportions sont généralement assez fortes : pendant la fusion, la teneur en peroxyde, d'abord de 14 p. 100, descend à 5, malgré la combustion directe qu'on sait alors avoir lieu sur la fonte. M. List attribue cette variation à l'absorption de l'excès d'oxygène par le silicium, le manganèse, le phosphore, etc., qui disparaissent à ce moment.

Pendant les deux brassages, le contenu en peroxyde se relève à 15 ou 16 p. 100, tandis que la proportion d'oxydule se réduit notablement, double fait que M. List explique, d'abord par l'action oxydante de l'air *sur les scories* ou *sur les grains de métal* amenés à la surface par l'effervescence; ensuite et surtout par l'action réductrice du carbone sur l'oxydule des scories.

Enfin, de la chute de l'effervescence jusqu'à la sortie des loupes, le contenu en peroxyde passerait de 15 ou 16 p. 100 au chiffre énorme de 22 ou 23.

(*) *Berg-und-Hutten-männische Zeitung von Kerl und Bornemann* (numéro du 13 décembre 1860) : *Uber einfluss der schlacken beim Puddel-process*, par M. le docteur List.

Que si l'on veut, d'ailleurs, accroître encore la propreté de ces fers, il suffit de quelques additions salines ou manganésées, comme celles dont on fait un fréquent usage, vers la fin du travail, en Angleterre aussi bien que sur le continent.

On objectera sans doute qu'un semblable procédé arrête l'affinage avant le départ complet du carbone et des quelques autres éléments qu'une épuration préalable imparfaite aurait pu y laisser.

Qualité que ce procédé exige dans les fontes. — A cet égard, nous dirons encore qu'à moins de fontes très-impures, le bénéfice d'une plus grande propreté et d'une plus grande homogénéité dans le fer jeune fera plus que compenser son léger défaut d'affinage. Il y a, nous le répétons, peut-être plus à craindre, pour la qualité définitive du produit, des scories pâteuses que donne un soulèvement prolongé, que de quelques traces d'éléments étrangers. Qu'on n'oublie pas, au surplus, que l'affinage se poursuit pendant les élaborations mécaniques, de façon à éliminer ces impuretés.

Quoi qu'il en soit, s'il faut au boiling process des fontes susceptibles d'une grande fluidité, ce qui vient d'être dit montre aussi qu'elles doivent offrir un certain degré de pureté.

Les meilleurs résultats qu'obtienne ce procédé, c'est avec les fontes d'hématites du Cumberland et du Lancashire : fontes au coke et à l'air chaud. A peu près au même rang, viennent les fontes grises à l'air froid et au coke, livrées par quelques hauts fourneaux du pays de Galles (Bleanavon et Pontypool), qui fondent un mélange de minerais houillers et d'hématites du Cumberland.

Enfin, exclusivement appliqué aux fontes grises du Staffordshire (fontes de minerais houillers, à l'air chaud, à la houille ou au coke mélangé de houille), l'affinage en une

seule opération donne des qualités de fer ordinaires, moins réputées que les précédentes.

Pourquoi le mézéage est encore si répandu en Angleterre. — Cette différence dans les résultats obtenus montre bien par ou pèche ce procédé, quand on l'applique à des fontes grises provenant exclusivement de minerais houillers, comme dans le Staffordshire. Le contenu de ces fontes en phosphore et la propriété qu'a le fer de reprendre cet élément aux scories qui en renferment une certaine dose, font qu'il vaut mieux, sous le rapport de la qualité, enlever la majeure partie du phosphore dans une première opération, où les scories ne sont en contact qu'avec un floss fondu encore très-carburé. Il en reste alors moins dans les laitiers de puddlage, et la réduction du phosphate de fer par le métal affiné est moins à redouter. C'est là ce qui explique l'application encore si fréquente en Angleterre du mazéage des fontes grises. Ajoutons que certaines de ces fontes, comme les fontes d'allures très-chaudes (Écosse et Cleveland) corrodent tellement les parois des puddlings que cette seule difficulté pratique impose déjà l'obligation de les soumettre à une épuration préalable dans un foyer distinct.

II. *Puddlage sec* (puddling process). La seconde variété de l'affinage en une seule opération (*puddling process*) correspond à ce que nous appelons *puddlage sec* ou *en sable.*

C'est l'ancien procédé, primitivement appliqué au *fine-metal caverneux*, provenant d'un mazéage avancé des fontes brutes. Lorsque, *par économie*, on supprima le mazéage pour affiner en une seule opération, on rechercha les fontes brutes les moins coûteuses et les plus faciles à affiner : des fontes blanches, parfois lamelleuses ou sublamelleuses, plus souvent grenues et même caverneuses. Généralement plus sulfureuses que les fontes chaudes, dont il a été question plus haut, elles avaient, par contre, l'avantage de demeurer pâteuses, c'est-à-dire de convenir mieux au procédé qui nous occupe.

La sole du puddlage sec est formée d'une plaque de fonte, sur laquelle s'accumulent peu à peu les battitures ou scories très-basiques provenant du travail même.

Le travail peut se diviser en trois périodes principales :

1° Fusion pâteuse de la fonte;

2° Brassage;

3° Soulèvement et confection des loupes.

La fonte, chargée en fragments sur la sole sèche ou couverte à peine de quelques flaques de laitier, est soumise à la pleine chaleur du foyer jusqu'à ramollissement. Elle éprouve évidemment, pendant ce temps, une action des gaz oxydants analogue à celle qu'on a constatée dans la méthode précédente. Notons cependant une différence importante : les oxydes produits, peu fusibles par eux-mêmes, sont en trop forte dose pour qu'en l'absence de laitiers sur la sole, le peu de silice fournie par la fonte blanche suffise à les dissoudre en entier. Demeurant d'abord à la surface des fragments de fonte, ils restent ensuite engagés dans celle-ci, quand le tout s'affaisse en masse pâteuse sur la sole. Les nombreuses bulles de gaz oxyde de carbone qui, dès la fin de cette première période, s'échappent de la masse, attestent une décarburation déjà fort active.

L'affinage par ce procédé est beaucoup trop précipité. — La réaction qui débute alors entre les oxydes et la fonte se poursuit énergiquement pendant le brassage à température réduite. L'ouvrier ménage la chaleur du fourneau, de façon à éviter une fluidité trop grande des matières. Tout concourt, en un mot, pour hâter l'affinage et faire marcher, à la fois, la décarburation et l'épuration.

A la fin de la seconde période, le fer, devenu soudant, se sèche, abandonnant sur la sole quelques minces filets de scorie liquide.

La masse métallique est alors divisée et soulevée par parties, au milieu d'un courant des plus oxydants. On doit prévoir, d'après ce qui a été dit précédemment des sou-

lèvements trop prolongés, quels dangers sont à craindre ici où il n'y a plus de silicates pour dissoudre l'excès d'oxyde. De deux choses l'une : ou l'on dépasse l'affinage et produit un fer doux et mou, mêlé de scories ; ou, péchant par défaut, on obtient un fer *cru*, de mauvaise qualité, parce que l'épuration a été sacrifiée à la rapidité du travail.

Il faut joindre à cela que les fontes soumises à ce travail sont par elles-mêmes de qualité fort inférieure ; que, dans la manipulation du brassage, leur état pâteux s'oppose à une division convenable des matières, contribuant ainsi à laisser, dans les loupes, des noyaux de fonte presque bruts à côté de parties même surafinées.

Il est inutile, après cela, d'insister pour établir combien ce procédé s'éloigne des conditions recommandées précédemment comme garantie de la qualité des fers.

III. *Affinage au réverbère en deux opérations* (refining and puddling process). — La méthode d'affinage progressif au réverbère, comprenant le mazéage et le puddlage, s'applique également aux deux cas extrêmes des fontes grises et des fontes blanches. Pour marquer la différence des buts qu'on se propose dans les deux cas, il suffira de rappeler rapidement les principes et les résultats de la première des deux opérations : *du mazéage.*

Cette manipulation s'exécute toujours, en Angleterre, dans le bas foyer au coke, connu sous le nom de *finerie anglaise*. Le travail, chacun le connaît : c'est une fusion de la fonte, seule ou additionnée de battitures ou de scories de forges, sous l'influence d'un courant d'air. La position de la fonte par rapport aux tuyères, l'inclinaison du vent, sa pression, la profondeur du foyer, etc., etc., sont autant de causes qui font varier d'intensité l'action de l'air sur le métal.

Si la fusion est rapide, si la fonte n'est point trop longtemps exposée à l'action de l'air, il est aisé de concevoir

que le mazéage doit aboutir aux mêmes résultats que les premières périodes du puddlage chaud.

Si donc on maze ainsi des fontes grises riches en graphite, phosphore, silicium et manganèse, la majeure partie de ces derniers éléments passera dans les scories du travail; le carbone, au contraire, se concentrera dans le floss mazé qui rappellera, à la coulée, les fontes blanches lamelleuses.

Ainsi conçu, le mazéage de la fonte correspondra, rappelons-le encore une fois, à ces rôtissages des mattes cuivreuses pour régules : régules où le cuivre se concentre à l'état de sulfure, en vue d'un affinage définitif plus parfait.

Que le mazéage s'applique, au contraire, à des fontes déjà blanches, plus faciles à décarburer, ou bien qu'on le prolonge plus longtemps sur des fontes grises : dans les deux cas, on obtiendra des floss blancs plus ou moins boursouflés ou caverneux. Ces floss mazés se seront bien dépouillés de silicium, de phosphore et de manganèse, mais ils auront également perdu du carbone et se prêteront moins à un puddlage soigné.

Les floss blancs lamelleux, obtenus du premier mode de travail, conviendront parfaitement à un puddlage chaud. Par les raisons déjà exposées ci-dessus, ils donneront des résultats supérieurs à ceux du puddlage direct des fontes brutes correspondantes.

Les floss caverneux, au contraire, ne peuvent convenir qu'à un puddlage sec. Bien que la fonte ait pu s'épurer pendant le mazéage, la plupart des défauts reprochés plus haut à ce mode de puddlage n'en subsisteront pas moins. Et puis cette épuration dans la finerie anglaise, bien positive à l'égard de certains éléments, l'est beaucoup moins quant au soufre, composant trop ordinaire des fontes au combustible minéral.

Ceci nous amène à rechercher si, une fois reconnue, l'excellence des affinages progressifs, c'est-à-dire, une fois admis le principe du mazéage, le procédé qu'on lui appli-

que en Angleterre est le mieux approprié au but qu'on se propose.

Le bas foyer convient moins que le réverbère pour le finage.

La finerie anglaise est un bas foyer où la fonte s'élabore au contact du coke, c'est-à-dire d'un combustible généralement sulfureux et chargé d'une proportion élevée de cendres argilo-siliceuses.

Ce qu'on sait aujourd'hui du mode suivant lequel se fait la combustion dans les bas foyers à tuyères suffirait déjà pour faire rejeter cette sorte d'appareil, lorsqu'il s'agit de produire une action oxydante régulière, d'une intensité voulue. Et, en fait, la comparaison des produits de plusieurs finages successifs démontre à quelles irrégularités ce travail est exposé (1). On a vraiment lieu de s'étonner que la métallurgie anglaise, dont le réverbère est l'outil caractéristique, se soit approprié, avec si peu d'à-propos, dans le mazéage au petit foyer, l'appareil fondamental des méthodes allemandes. On ne s'explique cette dérogation aux usages du travail anglais que par les théories régnant à l'époque où *Cort* inventait son procédé au combustible minéral : l'action directe de l'air sur les impuretés de la fonte; le courant d'air forcé surtout était, pour les sidérurgistes de cette époque, le seul moyen efficace d'éliminer le carbone et les autres éléments alliés au fer de la fonte (1).

(1) Dans tout ce qui précède, nous n'avons eu en vue que le mazéage ordinaire et non celui pratiqué dans le pays de Galles, où la fonte coule directement du haut fourneau dans la finerie. Mais, nous le verrons, les irrégularités dont nous parlons sont bien plus grandes encore dans ce dernier procédé.

(1) On lit dans Karsten, par exemple, page 301, tome II de l'édition de 1824 :

« L'affinage dans les fours à réverbère serait parfait, si la fonte « *pouvait perdre*, *par l'action de l'oxygène*, tout le carbone et « toutes les matières étrangères dont elle est souillée; mais il n'en « est pas tout à fait ainsi : le fer obtenu dans les fours à réverbère, « loin d'être meilleur, est presque toujours plus mauvais que l'autre. Il paraît que les matières étrangères, telles que le soufre, les bases

Les bas foyers au charbon de bois ont, nous le verrons bientôt, sur le réverbère une supériorité qui tient bien plutôt à la nature du combustible qu'à la forme des appareils. C'est dire qu'ils perdent cette supériorité quand on y substitue le coke au charbon de bois.

Indépendamment de l'accroissement des déchets qu'occasionnent ses hautes teneurs en cendres argilo-siliceuses, la nature sulfureuse de ce combustible va directement contre le but du mazéage, c'est-à-dire contre l'épuration de la fonte. Dans la plupart des analyses comparatives de fontes brutes et mazées, on voit en effet la teneur en soufre s'élever plutôt que s'abaisser. Les forges soigneuses de la qualité n'ignorent point ce côté désavantageux du finage anglais: celles qui, notamment, mazent pour floss blanc lamelleux, recherchent avec soin les cokes de houilles peu sulfureuses et carbonisées en plein air. On peut douter de la réelle efficacité de ces moyens, mais il suffit d'en signaler l'emploi pour démontrer que l'influence nuisible du soufre dans le mazéage est parfaitement admise par les praticiens.

Il nous semble y avoir, dans cet ensemble de résultats, assez de raisons pour condamner les fineries au coke: elles constituent un procédé de mazéage *irrégulier*, *incomplet* et *dispendieux*. Une méthode bien supérieure, à notre avis, est celle du mazéage au réverbère, pratiquée dans quelques forges du continent, en Silésie notamment. Elle se prête même beaucoup mieux que la précédente au mazéage immédiat de la fonte à sa sortie du haut fourneau.

« terreuses, le phosphore et d'autres métaux *sont oxydés plus fa-*
« *cilement par le courant d'air des machines soufflantes* et *qu'on*
« *parvient alors à les séparer du métal d'une manière plus com-*
« *plète.* »

N'est-il pas évident, d'après cette citation, que se méprenant sur la véritable cause de la supériorité du bas foyer, on l'attribuait à ce qui frappait, avant tout, dans le dispositif de l'appareil : *au courant d'air forcé.*

IV. ***Affinage au petit foyer, en deux opérations*** (*coak and charcoal finery*). — En Angleterre on affine au petit foyer à peu près exclusivement des fontes au coke, *grises* et *choisies* il est vrai, mais enfin des fontes au combustible minéral. C'est un procédé tout spécial à l'Angleterre : du moins, si quelques forges françaises l'ont récemment adopté, c'est sur une petite échelle et par imitation des procédés appliqués, dans certains districts du Royaume-Uni, à quelques fabrications spéciales (*fers-blancs, verges de tréfilerie, etc.*) (1).

Cette méthode comprend ainsi le mazéage et l'affinage proprement dit.

1° *Mazéage.* — Le foyer de mazéage est une petite finerie anglaise au coke, à une ou deux tuyères. On y traite peu de fonte à la fois, juste assez pour alimenter deux bas foyers qui en reçoivent directement le floss mazé à l'état liquide.

Les résultats de ce mazéage peuvent varier comme il a été exposé précédemment : mais l'opération n'y est pas, d'habitude, poussée bien loin ; le produit est à peu près constamment un floss très-liquide, vraisemblablement encore assez carburé. Ici, en particulier, on recherche avec soin les cokes de choix, les plus propres et les moins sulfureux.

2° *Affinage proprement dit.* — Le bas foyer d'affinage, construit comme la plupart des appareils de cette sorte, usités dans les forges au bois du continent, offre comme particularités une faible profondeur sous le vent et une inclinaison de la tuyère de quelques degrés seulement.

Le floss mazé, amené liquide dans le bas foyer préalablement nettoyé de scories, est d'abord refroidi pendant 8 à 10 minutes. Le but de ce refroidissement est de per-

(1) L'un de nous a vu, en 1833, pratiquer un procédé analogue en Silésie à l'usine de Rybnick.

mettre la division et le soulèvement de la masse métallique jusqu'au voisinage de la tuyère. Dès qu'elle devient possible, cette manipulation commence, en même temps qu'on donne progressivement le vent. Le soulèvement par parties constitue tout le travail de l'affineur, pendant une demi-heure à trois quarts d'heure, jusqu'à ce qu'enfin la charge entière soit devenue soudante et prête à la confection d'une loupe.

On conçoit aisément les réactions qui, dans ces conditions, ont lieu entre l'air et la fonte : elles rappellent celles que nous constations précédemment sur la sole du puddlage sec, mais avec quelques différences importantes.

Avantages des petits foyers sur les puddlings. — Le mélange d'oxydes et de fonte, produit devant la tuyère, se ramollit et tombe en masse pâteuse sur le fond du foyer. Là cette masse ferreuse reste au contact du charbon et des gaz réducteurs qui tempèrent les effets de l'oxydation. De plus, ce mélange trouve, au fond du foyer, de la fonte moins avancée d'affinage, capable de réagir sur l'excès d'oxydes. Enfin, et par dessus tout, le creuset est garni de scories à la fois très-fluides et très-épurantes. Peu après le commencement du travail, on y introduit en effet des crasses de martelage qui préparent le bain de scories propres à agir sur la fonte en ses divers états. Plus tard on en ajoute à plusieurs reprises ; mais, outre cela, les cendres du combustible se dissolvent dans ce bain, y apportant les principes alcalins et terreux (*potasse*, *chaux*, *magnésie*, *silice*, *etc.*) les plus propres à le rendre fluide et épurant (1).

---

(1) Si la plupart des analyses de scories de forge au bois n'accusent que peu ou point de potasse, cela tient sans aucun doute à ce que les auteurs de ces analyses ont négligé la recherche de cet élément. Les seuls résultats où figurent des teneurs importantes en potasse sont dus à M. Strom, ingénieur suédois ; ils sont consignés

C'est là une circonstance qu'on nous semble avoir trop négligée dans la comparaison des méthodes *allemande* (*petit foyer*) et *anglaise* (*réverbère*). Et cependant elle a une grande importance.

Dans ce cas particulier, si malgré l'absence de puissants brassages, qui paraissent si nécessaires à un affinage uniforme, le travail au bas foyer, d'ailleurs très-rapide, donne de bons résultats, il en revient une forte part à la nature des scories.

Observons encore que les scories ne sont pas exposées, dans le bas foyer, à une suroxydation aussi énergique que nous le constations précédemment sur la sole des réverbères (1). Par conséquent, elles conservent mieux leur fluïdité: la loupe unique, qui sort d'un pareil travail, est non-seulement plus uniformément chaude que les boules du puddlage, mais elle renferme surtout moins de scories que celle-ci et des scories plus faciles à expulser au cinglage.

Reste maintenant à savoir si les fontes de choix qu'on traite ainsi ne donneraient pas des résultats tout aussi satisfaisants par un puddlage chaud, succédant à un bon

---

dans l'édition de Karsten (1824), tome II, pages 445 et suivantes. On trouve là des teneurs de 2,86 à 3,70 p. 100 de potasse : il n'en est pas besoin d'autant pour accroître notablement la fluidité et la capacité affinante des laitiers.

(1) Déjà, dès 1824 (Karsten, tome II, page 302), M. Af. Uhr, à la suite d'expériences faites en Suède sur l'affinage au réverbère, signalait comme cause d'infériorité des fers puddlés, le mélange de scories restant dans le métal: Il ajoutait :

« Des fontes d'Angleterre, *obtenues dans des fourneaux au coke*, « ont été affinées à *Skebo* dans des feux d'affinerie au charbon de « bois. Elles se sont laissé traiter aussi facilement de cette manière « et elles ont produit un fer bien meilleur que celui qu'on en retire « dans les feux d'affinerie, *d'après la méthode anglaise.* »

Il est bon de rappeler que la méthode anglaise, dont il est question ici, était la méthode primitive (comprenant *un mazéage très-avancé et un puddlage sec*).

mazéage pour floss lamelleux. A condition d'améliorer les scories par quelques additions comme celles qu'emploie avec succès le puddlage pour acier, et sous la réserve qu'on soumît dans les deux cas les produits bruts aux mêmes élaborations ultérieures, nous sommes fort portés à croire, avec quelques fabricants anglais, qu'on peut obtenir du puddling des résultats tout à fait comparables à ceux du bas foyer. La préparation des fers-blancs nous offrira l'occasion de revenir sur ce sujet.

V. *Procédés d'affinage des riblons.* — A l'examen des procédé d'affinage proprement dits, nous croyons utile d'ajouter quelques mots sur le travail des riblons, d'autant plus que nous y trouverons la confirmation de quelques-uns des aperçus précédents.

Travail ordinaire par paquetage des riblons. — Un premier mode de travail en riblons consiste à paqueter ceux-ci et à les réchauffer, pour ensuite les soumettre au corroyage et au finissage comme les fers bruts ordinaires. Nous n'avons rien à dire de plus de ce travail, dont les principales particularités sont plutôt dans le mode d'élaboration mécanique des paquets.

Véritable puddlage de riblons. — Au contraire, nous nous occuperons un peu plus dès maintenant d'une autre variété du travail en riblons. Il se fait, soit *au réverbère à la houille*, soit *au petit foyer au charbon de bois*, mais plus généralement dans le premier appareil.

Les riblons sont découpés en menus fragments de quelques centimètres cubes, s'ils ne sont déjà dans un état de division convenable. Ces fragments sont jetés au milieu d'un bain de scories, sur la sole d'un réverbère (four à puddler), ou bien sur les charbons incandescents d'un bas foyer, au fond duquel ils descendent peu à peu, se soudant au milieu de la couche de scories qui s'y trouve.

Dans les deux cas, à partir du moment où les éléments ferreux sont arrivés à la chaleur soudante, on travaille

cette masse comme celle qui apparaît après l'effervescence d'un puddlage chaud. Le travail est seulement plus rapide et ne comporte pas de soulèvement proprement dit. On obtient ainsi une ou plusieurs loupes, qu'on soumet ensuite aux mêmes élaborations mécaniques que les boules ordinaires de fer brut.

Ne retrouve-t-on pas là l'application de deux principes importants du travail du fer, que nous avons signalés plus haut? Que les éléments se soudent d'autant mieux qu'ils sont plus uniformément chauds et que leurs surfaces sont mieux décapées.

Avantage du second mode. — La première condition est réalisée par la division en menus fragments; la seconde l'est par l'immersion dans un bain de scories parfaitement liquides. Mieux que le sable jeté à la surface des paquets et avec moindre déchet, ces scories dissolvent les oxydes qui tendraient d'autant plus à rester interposés entre les parties métalliques que le fer en question a déjà subi des corroyages multipliés et qu'il ne renferme plus les éléments propres à la scorification de ces oxydes.

§ 2. *Procédés de travail mécanique du fer.*

Nous examinerons les moyens de traitement mécanique du fer, suivis en Angleterre, dans l'ordre où se succèdent les opérations; nous trouverons donc :

1° Les appareils de cinglage;

2° Ceux d'étirage des lopins cinglés;

3° Ceux de corroyage et finissage du fer, y compris les fourneaux de réchauffage des paquets.

I. *Appareils de cinglage.* — *Le marteau* est partout, en Angleterre, réputé le meilleur outil de compression et d'épuration du fer brut.

L'uniformité avec laquelle son action se transmet presque instantanément à toute la masse compressible; le peu d'étirage qu'il produit, quand la panne et l'enclume sont de

dimensions correspondant à celles des loupes, tout cela fait que le travail mécanique du marteau se porte à peu près intégralement sur le rapprochement des molécules métalliques. Il répond donc mieux que tout autre à l'une des conditions générales posées précédemment, savoir: *donner au fer de loupe le plus de densité possible avant tout étirage.*

Chacun sait d'ailleurs que le martelage est un des meilleurs contrôles de la qualité des loupes: c'est l'épreuve la plus énergique qu'on leur puisse faire subir, l'épreuve à laquelle ne sauraient résister les fers de qualité inférieure.

Aussi les marteaux, *pilons* ou *frontaux*, sont-ils très-répandus dans les districts du Royaume-Uni réputés pour la qualité de leurs fers. Ajoutons qu'ils sont même plus fréquents qu'on ne l'imagine généralement sur le continent: si la méthode anglaise parvient à améliorer sensiblement les fers à la houille, elle le doit peut-être autant à la conservation de cet outil qu'aux perfectionnements de l'affinage.

La presse (*squeezer*), inventée assez longtemps après l'apparition de la méthode anglaise, est jusqu'ici restée l'outil des forges qui produisent les qualités de fer tout à fait secondaires ou inférieures.

L'action progressive que cet outil exerce sur la masse spongieuse de la loupe est certainement très-favorable aux fers qui ont besoin de ménagements; mais on doit, par contre, douter de la perfection d'un pareil cinglage. La différence des déchets observés dans une même forge, où l'on cingle alternativement au marteau frontal et à la presse, suffirait à démontrer que l'expulsion des scories par cette dernière est fort incomplète.

L'inégalité de la compression de la loupe, pincée sous forme de coin à base plus ou moins large, entre les deux mâchoires de l'appareil, est une autre cause d'infériorité.

Les machines rotatives (revolvers) sont fondées sur le même principe que les *squeezers* : quel que soit le modèle adopté, les loupes y sont toujours soumises à une compression progressive entre deux surfaces dont l'écartement va diminuant. Tous les reproches adressés aux *squeezers* simples, comme insuffisance et inégalité de la compression, sont donc à faire aux presses rotatives.

Ces dernières sembleraient bien, dès l'abord, présenter un certain avantage sur les presses ordinaires : une fois en mouvement, elles passent toutes les loupes uniformément, c'est-à-dire avec une constance d'action qui ne ménage pas les mauvais fers. Malheureusement cette constance d'action entraîne des dérangements fréquents dans le jeu de l'appareil. Les frais d'entretien et de premier établissement s'accroissent beaucoup, sans que pour cela les résultats du cinglage soient sensiblement meilleurs.

Aussi les machines rotatives, comme les presses ordinaires, ne s'appliquent-elles qu'aux fers mous et inférieurs des puddlages secs : elles ne livrent jamais qu'un lopin mal épuré et de peu de densité.

Les laminoirs, appliqués quelquefois, aux débuts de la méthode anglaise, au cinglage des fers bruts, ne servent plus aujourd'hui à cet usage.

II. *Appareils d'étirage des lopins cinglés.* — Nous n'avons vu et l'on ne nous a signalé aucune forge anglaise où l'*étirage* des lopins cinglés pour fer fini ou pour fer à corroyer s'exécute encore au marteau. Cependant les usines qui recherchent la qualité ne bornent pas non plus l'emploi du marteau *au cinglage*. Elles se servent de cet outil pour *étirer les lopins cinglés* sous forme de *blooms*, sorte de massiaux aplatis (*slabs*) propres au corroyage. Ce travail, qui exige souvent une demi-chaude supplémentaire, donnée dans le puddling même, produit un fer *dense* et *homogène*, l'étirage étant très-minime et les changements de forme

portant plus sur les dimensions transversales des pièces que sur leur longueur.

Dans la plupart des autres forges, les lopins, plus ou moins bien cinglés, sont étirés au laminoir pour barres brutes à corroyer ultérieurement.

III. *Corroyage et finissage du fer.* — Le mode de paquetage est un premier point par lequel diffèrent plus ou moins les forges anglaises, suivant la qualité des fers qu'elles produisent.

Deux modes de paquetage. — Bornons-nous, sur ce sujet, à quelques indications générales, nous réservant d'y revenir avec quelques détails, surtout lorsque nous aurons à parler des fers spéciaux (profilés).

1° *Pour qualités supérieures.* — 1° Les forges les plus réputées pour la qualité de leurs fers composent les trousses d'un petit nombre d'éléments, de même nature autant que faire se peut : ces éléments sont des massiaux plats (*slabs*) ou fragments de *slabs* préalablement cinglés et étirés au marteau. Les surfaces des joints verticaux y sont, par conséquent, réduites au minimum d'étendue. Si le fer, amené au maximum de propreté par le cinglage, est d'ailleurs du fer un peu jeune, comme celui qui sort des puddlages chauds bien conduits, on voit tout de suite que ce mode de paquetage satisfait à toutes les conditions posées précédemment.

2° *Pour qualités inférieures.* — 2° Pour qualités ordinaires et communes, les paquets comprennent un nombre plus ou moins grand de barres brutes laminées. Destinés au laminage, ces paquets ont des dimensions calculées de manière à accroître autant que possible le rapport de la section de la trousse à celle de la pièce finie. Nous apprécierons tout à l'heure l'importance de ce rapport, mais remarquons de suite qu'en augmentant la section transversale de paquets ainsi composés, on accroît non-seulement l'étendue et le

nombre des surfaces de joints, mais encore les difficultés d'un chauffage.

3° *Pour qualités intermédiaires.* — Entre les qualités extrêmes, auxquelles correspondent les deux modes de paquetage, dont il vient d'être question, il en est un certain nombre d'autres, notamment les fers dits *best* et *best-best*, auxquels s'applique aussi, assez souvent, le second mode de paquetage. Le fer *laminé de loupe* y est seulement remplacé, en totalité ou en partie, tantôt par du fer déjà *corroyé*, tantôt par des *slabs*, etc.

Sans nous arrêter ici au réchauffage, dont nous parlerons tout à l'heure, arrivons de suite au corroyage proprement dit.

Le *marteau* est l'outil exclusivement réservé au soudage des trousses en slabs ou fragments de slabs; souvent même on leur donne, *en matrices*, un commencement de *profilage* ou d'*étirage*, avant de les porter au laminoir, qu'on réserve uniquement pour le finissage des pièces.

Ce que nous avons dit précédemment de la composition de ces paquets et du mode d'action du marteau sur une masse de fer ramollie, suffit à faire concevoir l'avantage d'un pareil procédé. Le soudage sera d'autant meilleur que le fer est plus jeune et plus propre; que les trousses, de dimensions plus réduites, présentent moins de joints et sont plus faciles à chauffer uniformément. Enfin le commencement d'étirage donné au marteau est, nous allons le voir, bien supérieur à l'étirage au laminoir, *quant à la densité du fer*.

Principes du laminage. — Les autres sortes de paquets sont rarement martelés avant laminage : *le laminoir* les soude et profile généralement d'une même chaude.

Encore ici, en principe du moins, le soudage précède le profilage; mais un court examen suffit pour reconnaître qu'il n'y a point de soudage au laminoir sans un étirage

plus ou moins considérable; c'est là une cause d'infériorité incontestable du laminoir vis-à-vis du marteau.

On sait déjà que la compression d'un paquet entre deux cylindres est nécessairement plus limitée que sous le marteau : cela tient aux différences mêmes de construction et de solidité des deux appareils. En outre, le mode suivant lequel s'exerce l'action du laminoir établit une autre différence entre les deux outils, différence fort importante dont on n'a pas toujours assez tenu compte dans la comparaison de leurs effets.

L'action exercée par le cylindre sur le fer est double : *compression normale* d'abord, puis *frottement* de la part des cylindres contre les deux faces, supérieure et inférieure, du paquet, frottement dû à la différence de vitesse des cylindres et du paquet avant son passage.

La compression normale opère le rapprochement des molécules comme le marteau; mais le frottement n'agit que sur la surface; il entraîne les molécules externes, sans réagir sur les particules internes. Il y a, par suite, *déchirement*, qui persiste lorsque la température de la tranche extérieure s'est abaissée au-dessous de la chaleur de soudage. C'est là l'origine de la cassure nerveuse par opposition à la cassure à grains.

Il est difficile d'estimer le rapport de ces deux effets de compression et de déchirement; il doit nécessairement varier avec le diamètre et la vitesse des cylindres, avec le tirage donné aux cannelures, avec la température et la nature du fer qui entre dans les trousses, etc. Mais quel que soit ce rapport, l'étirage inégal qui accompagne ainsi le soudage au laminoir est contraire aux règles générales posées dans le chapitre précédent.

D'un autre côté, si l'on est d'accord pour attribuer au laminoir l'avantage d'un travail plus rapide que celui du marteau, cela n'est vrai que d'une façon générale; il ne faudrait pas l'entendre, comme on l'a fait quelquefois, dans

le sens que le laminoir utilise mieux *la chaude suante*, au point de vue particulier du soudage.

Le travail du laminoir n'offre pas, à cet égard, la continuité et la rapidité qu'on serait, dès l'abord, tenté de lui supposer. A son entrée dans chaque cannelure, le paquet ou la barre qui passe se serre et se soude jusqu'à ce que sa section soit réduite aux dimensions de la cannelure. Parvenu à ces dimensions limites, le fer continue à circuler dans ladite cannelure sans en éprouver de compression transversale importante; puis il sort, libre, du laminoir, pour être ultérieurement repris et passé dans une cannelure plus petite.

Il résulte de là qu'à chaque passage, le paquet n'éprouve de compression transversale importante que pendant quelques instants fort courts sur chacun des points de sa longueur. Le reste de la durée du passage, c'est-à-dire sa majeure partie, est perdue pour le soudage. Outre qu'une compression, si limitée de durée et d'intensité, doit difficilement *atteindre le cœur* de la trousse, le fer aminci, mais imparfaitement comprimé et épuré de ses scories, a encore, d'un passage à l'autre, tout le temps de se refroidir autant et plus qu'entre deux coups de marteau. Aussi, dans la plupart des cas, ne doit-on pas réellement compter sur plus de deux ou trois passages soudants par chaude de laminage. Les huit, dix ou douze, qui suivent parfois ceux-là, réduisent encore la section du paquet et allongent la barre, mais ils ne sont d'aucun effet quant à l'incorporation réciproque des mises.

Signification réelle du rapport des sections de la trousse et de la barre finie. — Lors donc qu'on prend pour mesure de l'étirage total du fer le rapport des sections de la trousse et de la barre finie, et qu'on juge de l'excellence de la soudure par la grandeur de ce rapport, il n'y a point là la garantie qu'on y croit trouver. A partir de la troisième cannelure, de la quatrième au plus, le changement de forme qu'éprouve

le fer provient de l'étirage simultané et parallèle des mises. Si elles n'ont pas été parfaitement soudées par les premiers passages, elles ne formeront souvent, en fin de compte, qu'un faisceau de lames à peine liées les unes aux autres, quel qu'ait été d'ailleurs l'étirage total du paquet (1).

L'insuffisance des laminoirs à produire une bonne soudure sera d'ailleurs d'autant plus marquée que les mises des paquets seront en fer moins soudant. Une trousse en *slabs* donnera, d'après ce qui précède, de meilleurs résultats qu'un paquet de barres déjà ballées ou corroyées plusieurs fois.

IV. *Appareils de réchauffage.* — Dans tout le paragraphe précédent, il a été sous-entendu que les trousses étaient réchauffées de la manière la plus favorable au corroyage. Quels sont les moyens suivis pour cela en Angleterre?

Fours de réchauffage. — Le four à réverbère, à tirage naturel, y est presque exclusivement employé. Quelques fabrications spéciales ont seules conservé les bas foyers à tuyères, alimentés, non plus au charbon de bois, mais au coke. Le four à réverbère ordinaire est cependant loin de répondre aux conditions d'un bon réchauffage.

Inconvénients du four à réverbère. — Le tirage naturel, trop souvent contrarié par les entrées d'air que provoquent les manœuvres sur la sole, annulé ou réduit par l'inattention des chauffeurs et par l'impropreté du combustible,

(1) On a comparé quelquefois la masse ferreuse à la matière textile qui ne prend de corps que par un étirage considérable. Cette ingénieuse comparaison ne nous paraît pas tout à fait juste. Il n'e s'agit pas seulement dans le travail du fer, comme dans celui du coton, de réunir les fibres par une torsion capable d'empêcher tout glissement des unes sur les autres. Il faut avec le fer, profiter de la semi-fluidité qu'il acquiert à haute température pour incorporer les molécules métalliques les unes dans les autres et en expulser les scories. A ce dernier point de vue, si l'on tient à la comparaison, il ne faut point oublier qu'avant de passer au banc d'étirage, à la Mull-Jenny, le coton a subi *le battage* et *le cardage*, opérations qui l'ont nettoyé des matières étrangères mécaniquement mélangées.

devient insuffisant pour produire un chauffage énergique et sûr. De là non-seulement des pertes de temps et de combustible, mais aussi, ce qui est plus grave, des déchets énormes et parfois une détérioration certaine de la qualité. On peut bien élever le pont au-dessus de la sole, courber les parois et incliner la voûte ou la sole, de façon à rejeter la flamme vers la porte de travail : tout cela corrige mal les défauts du réverbère. Il suffit, sur cette vaste sole, de quelques instants d'afflux d'air en excès pour laisser dans les trousses plus d'oxydes que n'en peuvent expulser le corroyage et l'étirage.

Un autre inconvénient tient à l'étendue de la sole : les trousses qui la couvrent s'échauffent irrégulièrement ; celles qu'on place contre le pont se brûlent, tandis que les plus éloignées restent froides. A cela se joint enfin l'inégalité naturelle d'un chauffage qui prend les paquets par le haut et laisse relativement froides les parties en contact avec la sole. C'en est assez pour conclure que de tous les appareils introduits par la méthode anglaise dans la sidérurgie, le réverbère de réchauffage est peut-être le moins bien approprié à son but. Le succès du travail y dépend trop de l'habileté de l'homme : *le réchauffeur devient la cheville ouvrière d'un atelier de finissage.*

Soufflage des fours à réverbère. — Chez nous, on a cherché et partiellement trouvé le remède aux inconvénients de la première sorte dans les chauffes fermées et à courant d'air forcé. Mais, sans que la solution ait été complète sur ce premier point, les autres défauts du réverbère subsistent.

Jusqu'aujourd'hui, les forges anglaises ont rarement recours aux réverbères soufflés. La nature généralement fragmentaire de leurs houilles, peut-être aussi une disposition des chauffes dont nous reparlerons ci-après, amoindrissent les inconvénients signalés. Peut-être enfin l'absence encore fréquente de chaudières à flammes perdues laisse-t-elle à leurs fourneaux un tirage plus facile à manier.

Fabrications qui ont conservé les bas foyers soufflés pour le réchauffage. — Les fabrications spéciales qui, en Angleterre, ont recours aux fours soufflés, n'ont point adopté le modèle des réverbères ; elles ont simplement conservé celui des bas foyers.

Une cuve de $0^m,50$ à $0^m,60$ de profondeur est remplie de coke, dans lequel un courant d'air forcé alimente une combustion toujours active. Une voûte est jetée sur cette cuve ; les flammes et gaz chauds tourbillonnent sous la voûte et passent, avant de s'échapper, dans un second compartiment également couvert.

Avantages de cette sorte de foyers. — Les trousses, d'abord préparées à une chaude plus énergique par un séjour plus ou moins prolongé dans ce second compartiment, sont ensuite portées sous la première voûte ; on les y dispose sur des supports placés immédiatement au-dessus du combustible.

Le fer n'est pas là au contact d'un combustible dont l'impureté pourrait lui nuire ; mais il est au cœur d'un foyer où la combustion peut être dirigée bien plus sûrement que dans un réverbère, en vue de limiter l'action de l'air sur les trousses. De plus, le paquet se chauffe là sur toutes ses faces à la fois ; grâce à la voûte et aux parois, qui enveloppent un espace où le fer et le combustible occupent la plus grande place, toute la chaleur rayonnante du foyer peut agir sur le métal. Bref, au lieu de ces chaudes *sèches* (oxydantes) que redoutent tant les chauffeurs au réverbère, ces bas foyers voûtés donnent des chaudes *grasses*, *uniformes* et *sûres* comme les aiment les forgerons.

Certainement ces foyers au coke ne valent pas ceux au charbon de bois pour la qualité des produits ; dans ces derniers on peut disposer les paquets ou lopins au milieu du combustible, profitant ainsi, en outre des avantages précédents, de la liquidité communiquée aux scories de réchauffage par les cendres mêmes du combustible. Cepen-

dant, ici comme dans le corroyage de l'acier auquel on les applique généralement, ces bas foyers au coke, s'ils produisent moins et plus cher, travaillent mieux que les réverbères.

CHAPITRE III.

PROCÉDÉS DE FABRICATION SUIVIS DANS LES DIVERS DISTRICTS DU ROYAUME-UNI. — QUALITÉS ET PRIX DES FERS OBTENUS.

Nous avons, dans les deux chapitres précédents, exposé les divers moyens d'affinage, cinglage et corroyage, usités dans les forges anglaises. C'est par leurs combinaisons que se composent les procédés de fabrication qui caractérisent les différents districts du Royaume-Uni. Indiquons maintenant quelques-unes de ces combinaisons.

§ 1. *Diverses formules de travail; qualités qu'elles produisent.*

I. Qu'on associe l'affinage au charbon de bois des floss blancs lamelleux, provenant du finage de bonnes fontes à l'air froid, avec un martelage soigné pour *slabs* ou pour plaques dites *stamp-iron;* que des trousses en stamps, réchauffées dans des foyers au coke, soient plusieurs fois corroyées au marteau avant d'être étirées au laminoir, et l'on aura évidemment, d'après ce qui précède, par cette formule de travail, un fer *propre*, *homogène* et *dense*, qui vaudra les fers au bois, autant du moins que le permettra la nature des minerais dont proviennent les fontes. (*Usines à fers blancs du pays de Galles et du Staffordshire.*)

II. Il ne paraît même pas absolument nécessaire de recourir aux bas foyers d'affinage et de réchauffage, pour obtenir ces qualités supérieures. Le mazéage de bonnes fontes grises au coke et à l'air froid, pour floss lamelleux; un puddlage chaud; un cinglage très-soigné au marteau; le cassage et le triage des fragments de stamps martelés; enfin des réchauffages (au réverbère) assez multipliés et suivis de corroyages au marteau jusqu'à commencement

de profilage; le laminoir ne servant qu'à donner la dernière forme aux pièces : voilà une formule qui suffit à donner des fers *forts* et *durs* en état de remplacer les fers au bois dans nombre d'usages. (*Forges de Lowmoor et Bowling* du *Yorkshire.*)

III. Qu'à un autre extrême, des fontes blanches inférieures (de roulements à doses de scories, plus ou moins élevées, à la houille crue et à l'air chaud), soient puddlées à sec, avec ou sans mazéage pour floss caverneux ; que les loupes soient cinglées aux presses ou aux machines rotatives ; que les paquets de barres brutes laminées soient transformées d'une seule chaude en barres finées, et l'on obtiendra ainsi un fer *malsain*, *sans densité*, en même temps que *mal affiné*, c'est-à-dire portant tous les défauts inhérents aux éléments étrangers (soufre et phosphore) si abondants dans les matières premières des usines anglaises. (*Forges à fers communs du pays de Galles.*)

IV. Entre les deux formules extrêmes (II et III) on en peut concevoir un grand nombre d'autres ; nous aurons l'occasion d'en citer quelques-unes dans la section suivante. Bornons-nous, pour l'instant, à signaler le procédé le plus généralement appliqué aux bonnes marques ordinaires de fers marchands. Il comprend le puddlage direct des fontes grises, le cinglage au marteau, le corroyage et le finissage d'une seule chaude au laminoir. On obtient, par là, des fers *d'assez belle apparence*, *plutôt durs que mous*, et dont la nature dépend beaucoup de la qualité des fontes employées. (*Forges du Staffordshire, de l'Écosse, du Yorkshire, du Derbyshire, etc.*)

Termes de comparaison qu'on trouve chez nous aux différentes qualités de fers anglais. — Quant aux termes de comparaison qu'on trouverait chez nous aux qualités III et IV, nous pensons qu'on peut hardiment affirmer l'infériorité de la première vis à-vis de la majorité de nos fers laminés à la houille.

Par contre, lorsque les forges du Staffordshire appliquent la formule IV aux fontes grises d'hématite, du Cumberland ou du Lancashire, elles produisent des fers incontestablement meilleurs, à chaud et à froid, que nos fers à la houille, trop souvent préparés avec des fontes blanches ou truitées blanches.

La variété IV, préparée avec des fontes grises de minerai houiller, quoique généralement cassante à froid, nous paraît également supérieure à la plupart de nos laminés à la houille, pour les usages à chaud, par ce même motif que nos forges, visant à l'économie, font un usage trop exclusif des fontes blanches.

Le vrai terme de comparaison pour les fers ordinaire du Staffordshire, type de cette variété, c'est notre fer de Champagne de fonte au bois puddlée à la houille. Cette assimilation a été faite plusieurs fois dans le cours de l'enquête relative au traité de commerce. M. E. Martin, entre autres déposants, a déclaré qu'il regardait cependant le fer de Champagne comme un peu supérieur aux fers de Staffordshire. Pour nous, la différence n'est pas grande, lorsque surtout, comme c'est le cas dans les bonnes forges de ce district anglais, on n'use au puddlage que des fontes grises au coke, obtenues sans scories au haut fourneau.

§ 2. *En quoi consistent les moyens d'amélioration de la qualité dans la fabrication au combustible minéral. — D'où vient que ces moyens s'appliquent de moins en moins.*

Répondons maintenant à la question que nous nous sommes posée au début de cette section.

En ne précipitant point le travail du haut fourneau, en n'y sacrifiant pas exclusivement à l'économie, la fabrication au combustible minéral obtient des fontes, qu'un affinage progressif bien conduit, des corroyages soignés au marteau et un usage restreint du laminoir transforment en fer de très-bonne qualité.

Il n'est pas sans intérêt d'observer que c'est en se rapprochant des anciens procédés que la méthode à la houille parvient à livrer des produits comparables aux fers au bois. Comment procèdent, en effet, les meilleures méthodes au charbon de bois? Par un bon choix de fontes, par l'affinage à deux feux (mazéage et affinage proprement dits, ou affinage à double soulèvement comme en Silésie), par des réchauffages à cœur et des corroyages multipliés au marteau.

Il y a plus, en ce qui touche spécialement l'affinage. Les méthodes au combustible végétal ne parviennent pas mieux que l'affinage à la houille, pas mieux surtout que les puddlages chauds aidés d'additions convenables, à détruire l'influence naturelle des minerais sur la qualité des produits définitifs. Les derniers semblent même supérieurs aux premières sous ce rapport.

De ces rapprochements n'est-on pas en droit de conclure que si l'on s'était borné à substituer l'affinage à la houille à l'affinage au charbon de bois, les perfectionnements aujourd'hui réalisés du puddlage eussent plus promptement encore fait oublier le bas foyer?

Comment les procédés à la houille se sont progressivement éloignés de la qualité. — Mais une fois sur la pente de l'économie, on ne fut point satisfait de celle qu'avait produite cette substitution de la houille au bois. Sans parler des réductions de frais qu'on devait trouver dans le roulement des hauts fourneaux en fontes inférieures et dans la suppression du mazéage, les laminoirs et les presses apportaient des moyens également très-efficaces d'abaisser les prix de revient; malheureusement ils portaient le coup de grâce à la qualité!

Sans attendre ce que nous avons à dire des frais de fabrication, on conçoit bien, en effet, qu'indépendamment du coût plus élevé des fontes, la double opération du mazéage et du puddlage, mais surtout les martelages longs et mul-

tipliés des procédés I et II, sont des causes de dépenses considérables. Aussi leurs produits, qu'on compare aux fers au bois, se vendent-ils, en Angleterre, à peu près les mêmes prix que ceux-ci chez nous, c'est-à-dire deux ou trois fois ce que l'on vend les fers simplement laminés.

Comment les consommateurs se sont habitués aux qualités inférieures. — Il est donc bien certain que c'est par le sacrifice de la qualité que l'on est parvenu à réaliser les plus fortes économies. Mais, d'un autre côté, la qualité est une propriété du fer qui, dans la pratique, n'a rien d'absolu ; pour le consommateur, un fer est bon qui trouve emploi et qui satisfait à l'usage auquel on le destine. Une fois fixé sur les limites qu'à cet égard il lui suffit d'atteindre, le fabricant n'a plus d'autre préoccupation que de le préparer au meilleur marché possible.

Dans cet ordre d'idées, le consommateur anglais, encouragé par les prix de plus en plus réduits des qualités inférieures, s'est étudié à substituer celles-ci aux bonnes marques d'autrefois. Il y a généralement réussi, et l'on peut dire avec M. E. Martin (1) : « Il n'est pas douteux qu'en « Angleterre les ouvriers, dans tout ce qui est commer- « cial, se sont habitués à employer avec beaucoup d'habi- « leté les mauvaises matières..... » Les développements de la consommation ont aussi favorisé ce mouvement, car la plupart des emplois nouveaux et des plus importants en sont venus à réclamer, à tort ou à raison, des qualités inférieures.

Réaction contre les tendances à la dépréciation de la qualité. — Disons cependant qu'une réaction est imminente, et ce qui prouve que les procédés expéditifs du travail mé-

(1) *Enquête du traité de commerce avec l'Angleterre. Industrie métallurgique*, tome Ier, p. 312 (fers, fonte, aciers, etc.). M E. Martin ajoute avec raison qu'on est, chez nous, entré largement dans la même voie.

canique sont pour beaucoup dans la dépréciation de la qualité, c'est que cette réaction paraît s'attaquer spécialement au défaut de propreté et d'homogénéité, aux défauts de densité et de soudure. Seulement on ne cherche pas le remède dans les anciens moyens mécaniques; on les cherche, nous l'avons déjà dit, dans la fusion du fer (*homogeneous metal* et autres produits analogues dont nous reparlerons à la section des aciers).

§ 3. *Répartition des diverses qualités de fer entre les districts de forges anglaises.*

En ce qui concerne les barres marchandes, leur production totale se divise fort inégalement entre les différentes qualités de fer dont il vient d'être question.

1° Les marques « *bon ordinaire* » du Staffordshire en forment près de la moitié. En outre, la presque totalité des fers marchands fabriqués par des procédés analogues à celui du Staffordshire, en Écosse, dans le Cleveland, dans le Derbyshire, etc., se rangent encore dans cette catégorie.

2° Les qualités tout à fait supérieures ne comptent peut-être pas pour 1/15 dans le total des barres marchandes. Il faut toutefois observer qu'entre ces qualités exceptionnelles et les marques précédentes il y a des passages, connus sur les classifications anglaises sous les noms de *best*, *best-best*, *scraps-bars*, etc., etc., qualités dont on ne peut fixer la proportion, mais qui, sans doute, élèvent la somme des barres de choix d'une manière très-notable.

3° Enfin les qualités communes ou tout à fait inférieures, forment à peu près le 1/5 ou le 1/6 de la production totale du Royaume-Uni.

Chacune des sortes 1° et 2° fait la spécialité d'un district, la première du Staffordshire, la seconde du pays de Galles. Déjà, dès l'introduction de notre mémoire, nous avons esquissé les causes de la spécialisation du travail dans les divers bassins de la Grande-Bretagne. Nous y re-

viendrons, en traitant de la partie économique de la fabrication des barres, pour montrer l'influence qu'ont exercée à cet égard les précédents et les débouchés.

Ce que nous avons à dire des fers marchands comprendra encore deux sections, l'une technique et l'autre économique. Dans chacune d'elles nous passerons en revue, par ordre d'importance :

1° Les bonnes marques ordinaires;

2° Les barres améliorées et qualités supérieures;

3° Les barres communes ou inférieures.

DEUXIÈME SECTION.

Partie technique de la fabrication des fers marchands.

Généralités. Classification sur dimensions.

Lorsqu'on jette les yeux sur les *prix courants* anglais, on distingue d'abord une première grande classe de barres (merchant bars) qui embrasse les ronds et quarrés compris entre 8/16 pouce ($0^m,0125$) et 3 à 4 pouces ($0^m,075$ à $0^m,010$); les plats de 1 pouce sur 1/4 à 6 sur 1 inclusivement.

C'est là, en particulier, la base de la classification du Staffordshire, district qu'il faut avoir spécialement en vue quand il s'agit de barres marchandes.

Esprit de la classification des fers marchands. — Dans les autres centres sidérurgiques la première classe s'arrête parfois à 9/16 et même à 10/16 de pouce, comme limite inférieure des ronds et quarrés, et à 3 pouces comme limite supérieure; la classification des plats est modifiée d'une façon correspondante. Ce sont là des variations qui se rattachent plutôt peut-être à des différences de qualités qu'à

de simples coutumes locales. Avec de bonnes qualités ordinaires, comme la majorité de celles du Staffordshire, les fers peuvent se transformer d'une seule chaude, c'est-à-dire sans ballage, en barres même d'assez petites dimensions; les prix de revient ne s'accroissent pas sensiblement pour certaines réductions d'équarrissage. Aussi, pour éviter des classes trop nombreuses, c'est-à-dire pour introduire la plus grande simplicité possible dans l'écoulement de leurs produits, les maîtres de forges étendent-ils la première classe des barres. C'est l'opposé, du moins jusqu'à un certain point, avec les fers de qualité médiocre comme ceux du pays de Galles, qui ne sauraient se laminer sur petites dimensions qu'à l'aide d'un ballage total ou partiel.

Quoi qu'il en soit, même avec les réductions de limites qu'on observe sur les listes de prix du pays de Galles, de l'Écosse et du Yorkshire, la première classe anglaise est toujours fort étendue. Ajoutons qu'elle renferme, en définitive, les échantillons les plus fréquemment demandés aux forges.

Mais si cette première classe est étendue, plus étendue chez nos voisins que chez nous, les *extra-classes*, en dessus et en dessous de la première, y sont, par contre, plus nombreuses et plus rapprochées qu'ailleurs. Dès que le consommateur sort des dimensions courantes, le fabricant anglais lui impose des écarts de prix rapidement croissants. En d'autres termes, tout ce qui fait l'objet d'une consommation régulière et étendue se vend le même prix et le prix le plus réduit, malgré quelques différences dans les prix de revient. Tout ce qui, au contraire, exige un travail un peu spécial, ne rentrant pas dans le roulement ordinaire des ateliers, augmente rapidement de valeur, plus rapidement parfois que les prix de revient.

Après cette classification sur dimensions il en est une autre, également portée sur les prix courants anglais : c'est celle des qualités. A chaque dimension correspondent

trois ou quatre sortes : *ordinaire*, *best* ou *best-best*, *scraps iron*, etc.

Sans avoir la prétention, dans un travail nécessairement général, d'embrasser tous les cas de la fabrication des fers marchands en Angleterre, nous espérons cependant en donner une idée suffisamment complète, en divisant ce que nous avons à en dire en quatre chapitres :

Le trois premiers relatifs aux barres de première classe :

1° Bonnes marques ordinaires ;

2° Marques améliorées (best, best-best, etc.) et qualités supérieures ;

3° Marques communes ou inférieures ;

Le quatrième, traitant des barres de dimensions extra.

CHAPITRE PREMIER.

FABRICATION DES BARRES DE 1re CLASSE (BONNES MARQUES ORDINAIRES.)

§ 1. *Ensemble du procédé.*

On connaît déjà, par ce qui précède, la formule de travail pour bonnes marques ordinaires. Nous insisterons surtout sur la fabrication de ces qualités dans le Staffordshire, où les fontes grises nos 3 et 4 sont puddlées directement. Par des raisons déjà indiquées dans la section précédente, et sur lesquelles nous reviendrons plus loin, on maze, en Écosse et dans le Cleveland, une partie des fontes destinées à la production des sortes qui nous occupent. Néanmoins le mazéage est l'exception dans cette fabrication. Aussi rejetterons-nous ce que nous avons à en dire aux chapitres suivants et particulièrement à celui relatif au pays de Galles qui applique plus généralement ce procédé.

§ 2. *Matières premières.*

Les matières premières nécessaires à cette fabrication comme à toutes celles qui vont suivre sont : *la houille, les matériaux réfractaires, les scories de forge brutes ou grillées, les fontes.*

Houille. — Après tout ce que nous avons déjà dit des houilles et des matériaux réfractaires dont dispose l'industrie anglaise, nous avons peu de chose à ajouter sur ce sujet. Disons seulement que, dans les diverses opérations de puddlage et de réchauffage, les fourneaux consomment à peu près exclusivement du grêle plus ou moins mélangé de gros. Quelques forges seulement du pays de Galles usent de la houille menue pour le puddlage; il est bon de rappeler qu'elles produisent des qualités fort communes.

Cette alimentation des réverbères par des charbons gros et grêles semblerait d'abord constituer, en faveur des forges anglaises, un avantage important. Or on ne constate point les différences élevées de consommation que cette circonstance devrait produire entre les forges anglaises et celles des nôtres qui ne consomment que du menu. C'est que, il ne faut pas l'oublier dans ces comparaisons, les charbons anglais sont généralement peu collants, tandis que les menus de nos charbons tendres sont presque toujours gras. Ceux-ci s'agglomèrent au feu, et entre les mains d'un bon ouvrier, rendront souvent autant d'effet utile que les gros et grêles anglais.

Sur les scories de forge, nous n'avons à dire que le parti qu'on en a tiré pour l'entretien des soles et du cordon des puddlings; nous allons en parler à l'occasion de ces appareils.

Fontes. Importance du choix de cette matière première. — Nous ne reviendrons sur ce qui concerne les fontes que pour rappeler que la qualité « *bonne marque ordinaire* » exclut absolument l'emploi des scories de forge au haut

fourneau, sauf une faible proportion de scories de réchauffage. On use donc des fontes grises nos 3 et 4, de minerais houillers, généralement à l'air chaud et à la houille mélangée de coke. Dans les forges les plus réputées, on y mêle plus ou moins de fontes au coke seul, à l'air chaud et même à l'air froid; mais déjà les fers ainsi obtenus seraient des *best* pour la majorité des usines de ce district. Quant à la nature et à la composition de ces fontes, nous renvoyons à ce qui en a été dit dans la deuxième partie de ce travail. Nous avons montré alors les différences qui, à cet égard, résultent de l'emploi de la houille ou du coke, de l'air chaud ou de l'air froid.

§ 5. *Quelques renseignements sur les appareils.*

I. *Fourneaux de puddlage et de réchauffage.* — Les puddlings appartiennent à deux types : le premier, est à parois pleines en briques réfactaires et à sole en fonte ; le second, four bouillant proprement dit, est à sole en fonte et à parois métalliques creuses, traversées par un courant d'air, rarement par un courant d'eau. Dans les deux types, la sole et les parois sont garnies de scories de forge liquatées et grillées comme nous l'exposerons ci-après

Les fours à sole de chauffage préalable sont assez rares encore dans le Staffordshire. Nous n'y avons point vu non plus de fours doubles à deux portes, semblables à ceux connus en France sous le nom de fours champenois.

Les dimensions et le profil intérieur de ces deux types de puddlings sont généralement les mêmes : ils ne diffèrent point notablement de ceux rapportés par les auteurs des *Voyages métallurgiques*, ni par conséquent de ceux qui sont adoptés dans la plupart des forges du continent.

La seule modification des puddlings à une porte, décrits dans *les voyages métallurgiques*, consiste dans l'accroissement de profondeur de la sole actuelle sous le seuil de la porte de travail. Cet accroissement a été provoqué par la

nécessité de maintenir sur la sole une masse liquide, sujette à se boursoufler beaucoup. La profondeur actuelle de la sole sous la porte varie de 8 à 12 pouces (0m,20 à 0m,30); la hauteur du pont au-dessus de la sole atteignant 10 à 14 pouces (0m,25 à 0m,35).

Même profil général dans les deux classes de fours. — Sauf un agrandissement de la sole de 2 pouces sur la longueur et de près d'un pied sur la largeur, le profil général des fours à réchauffer (*heating furnace*) est à très-peu près celui des puddlings.

Une particularité de ce profil, qui nous semble bien avoir quelque importance, s'observe dans les dimensions de la chauffe. Sa section est *rectangulaire*, le rectangle ayant 0m,75 sur 1 mètre dans le *puddling* et 0m,70 sur 1m,20 dans le *heating-furnace*. On voit en même temps que la surface de la grille est réduite à 0mq,75 dans le premier four et à 0mq,84 dans le second.

Ces dispositions de la chauffe, assez générales dans les réverbères anglais, tiennent peut être, en partie du moins, à la nature *grêleuse* des charbons consommés. Mais il faut observer aussi que l'absence de chaudières à flammes perdues permet de compenser par un tirage énergique la réduction de la surface de grille.

Quoi qu'il en soit, ces dispositions sont bonnes en elles-mêmes et préférables à celles qu'on adopte souvent ailleurs : grandes grilles carrées de 1 mètre à 1m,10 de côté. Le petit côté du rectangle est toujours dans le sens du grand axe du four.

Avec ces grandes sections quarrées, le tirage le plus énergique n'appelle jamais l'air également par tous les points d'une largeur de 1 mètre, L'accroissement de la surface de la grille multiplie beaucoup les chances de passages irréguliers, ou de cheminées d'air, à travers le combustible. Il en résulte que, sans développer toujours un chauffage énergique, ces grandes grilles à sections quarrées exposent

à des déchets énormes par excès d'air sur la sole, circonstance importante à considérer, surtout dans les fours à réchauffer.

On n'a à craindre aucun de ces inconvénients avec de petites chauffes et un fort tirage. Une section rectangulaire, avec petit côté perpendiculaire à la largeur du four, est plus uniformément traversée par le courant d'air. Enfin les petites chauffes ont encore l'avantage de réduire le périmètre ou la surface par laquelle se disperse nécessairement une partie de la chaleur.

C'est à ces dispositions des fours anglais que nous faisions allusion[1], en parlant précédemment du réchauffage avec courant d'air forcé sous la grille. Peut-être, en effet, ces petites chauffes rectangulaires avec fort tirage réalisent-elles au moins une partie des avantages reconnus aux fours soufflés. Néanmoins, plus le tirage est fort, plus aussi il y aura appel d'air par la porte de travail.

Simplicité de construction des puddings et des heatings furnaces. — Quant au mode de construction des fours à puddler ou à réchauffer, il est généralement des plus simples. On fait en fonte la majeure partie de l'appareil : peu ou point de fondations, les taquets ou plaques d'armatures portant, à la hauteur de la sole, des rebords sur lesquels se pose celle-ci. Les maçonneries sont donc réduites au volume minimum, c'est-à-dire à celui des parois réfractaires et de la voûte. La voûte est à génératrices transversales, fortement inclinée de la chauffe vers le rampant et appuyée sur la face plane de la paroi antérieure de la chauffe. L'angle aigu que forme ainsi la jonction de la voûte avec la paroi antérieure de la chauffe est peu favorable à l'utilisation de la chaleur rayonnante du foyer ; on sacrifie celle-ci à la simplicité de construction et de réparation des fourneaux.

Absence des chaudières à flammes perdues. — C'est, sans aucun doute, au même esprit, au désir de la simplicité, qu'il

faut attribuer l'absence de chaudières à flammes perdues sur un si grand nombre de *puddlings* et de *heatings*. Le Staffordshire utilisait les flammes perdues, déjà à l'époque des voyages métallurgiques. Si cet usage ne s'y est point développé, il faut, ce nous semble, en voir la raison dans la complication du système de chaudières adopté (1), bien plutôt que dans les reproches que M. Truran adresse, d'une façon beaucoup trop générale, aux chaudières à flammes perdues. Suivant ce métallurgiste, l'économie serait plus apparente que réelle : l'économie de houille faite aux machines serait plus que compensée par l'accroissement de consommation sur les grilles des fourneaux à chaudières. Il cite un ou deux exemples où l'addition de chaudières aux fours à réchauffer aurait déterminé un accroissement notable de consommation par tonne de fer et de plus la détérioration de la qualité. Resterait à savoir quelles dispositions présentaient ces chaudières, et si en particulier les conditions d'un bon tirage n'y étaient point oubliées. On est tenté de supposer que l'insuccès tient à un défaut de ce genre, en voyant M. Truran préoccupé surtout de la réduction de tirage qu'entraîne l'utilisation des flammes perdues. Il nous semble attacher trop d'importance à la température des gaz qui parcourent la cheminée, et négliger trop les autres moyens de rétablir un tirage suffisant. En fait, lorsqu'on a pris soin de ne point exagérer la longueur des carneaux de circulation autour des chaudières et de leur donner une section suffisante, conditions fort bien réalisées par les chaudières verticales de quelques-uns de nos districts sidérurgiques, on n'a pas constaté les mauvais effets que signale M. Truran. On a économisé toute la houille autrefois dépensée aux machines et l'on

(1) Voyez-en la description page 50 du tome II des *Voyages métallurgiques*, 2e édit. Ce système, au reste, est encore usité dans beaucoup de forges du Staffordshire.

ne consomme pas plus qu'en Angleterre sur les grilles des fourneaux.

Au reste, on a compris cet avantage dans les forges neuves *du Cleveland* et *du pays de Galles*: nous y avons vu un certain nombre de *puddlings* ou de *heatings*, munis de chaudières cylindriques, disposées horizontalement au-dessus des fours. Elles sont à tube intérieur, dans lequel circulent les flammes avant de gagner la cheminée. Le croquis *fig.* 4 et 5, pl. III, représente une chaudière semblable qui reçoit les flammes perdues de deux fourneaux voisins F, F' (1).

Une innovation ingénieuse, qui nous semble appelée à se répandre rapidement, a été apportée, il y a quelques années déjà, dans la construction et l'entretien des soles de puddlage. Les scories de forge grillées et *liquatées* ont remplacé les riblons ou rognures de fer brûlés dans la plupart des forges qui puddlent les fontes grises brutes.

On fait d'abord subir aux scories de forge une calcination pendant laquelle ces matières se dédoublent en deux produits: l'un, silicate neutre et relativement pauvre en fer, qui entre en fusion; l'autre, espèce de battiture peu chargée de silice (2), qui reste à l'état fragmentaire et qui, par sa réfractibilité, devient propre à l'entretien des soles et parois du puddling au même titre que des riblons brûlés. On a donné à ces fragments le nom de *bull-dogs*, à cause de la forme qu'ils affectent après la liquation.

---

(1) Nous n'avons point de renseignements sur l'effet utile de ce système qui nous paraît un peu compliqué, difficile surtout de réparations. Mais ce qui fait donner la préférence aux chaudières tubulaires, c'est peut-être qu'elles réduisent moins le tirage que les carneaux en maçonnerie qui enveloppent les simples chaudières cylindriques.

(2) On voit à la surface des bull-dogs des écailles micacées qui y dénotent la présence du peroxyde de fer.

Appareil à liquater ces scories. — On prépare les scories de forge à cette opération en les coulant, à la sortie des fours, dans de petits wagonnets en tôle légèrement tronconiques, de 30 à 40 décimètres cubes de capacité. Les pains ainsi obtenus sont empilés en tas dans une sorte de stalle de grillage représentée par le croquis *fig.* 9 et 10, *pl.* III.

Les trois murs fixes MMM, qui limitent cette stalle, sont percés d'ouvertures OO, disposées pour recevoir des grilles inclinées *gg*. Elles forment ainsi autant de foyers, dont les flammes et gaz s'échappent à travers les scories contenues dans la stalle. On a pris soin de ménager, pendant l'empilage, des conduits correspondant à ces foyers, à peu près comme dans les fours à cuire les briques. L'avant de la stalle se ferme par un mur en pierres sèches.

Une stalle qui a, comme celle des *fig.* 9 et 10, 30 pieds (9m,) de long; 14 pieds (4m,20) de large et 8 pieds (2m,40) de hauteur, reçoit 140 à 150 tonnes de scories brutes. Elle reste en feu pendant dix ou douze jours; le refroidissement dure trois ou quatre.

A la fin de l'opération, on trouve, au bas du tas, une couche compacte de 25 à 30 centimètres de silicate fondu; les fragments restent au-dessus, plus ou moins agglomérés les uns aux autres. On commence par enlever ceux-ci au pic, ou à l'aide de longs leviers, servant au besoin de fleurets.

Le chargement et le déchargement prenant ensemble cinq ou six jours, l'opération entière dure dix-huit à vingt ou vingt et un jours.

Prix de revient des bull-dogs. — Nous rapporterons tout de suite le coût de ce travail par tonne de 2.400 liv. :

0j,93 de main-d'œuvre : empilage, chauffage, déchargement et transport	2sh.4d
0t,45 de houille menue	1. 0
Réparation et entretien : main-d'œuvre de maçons et de forgerons; matières, briques et fer	3. 8
Total	7. 0

Comme ces *bull-dogs* se peuvent vendre jusqu'à 12 et 14 sh. la tonne, ce prix permet d'attribuer aux scories de forge brutes une certaine valeur: aussi les voit-on généralement figurer, à titre de produits secondaires, dans les prix de revient des forges.

Leur mode d'emploi. — Dans quelques forges, on pulvérise, au pilon ou au marteau frontal, une partie de ces *bull-dogs*, et la poudre obtenue sert, concurremment avec le reste des fragments, simplement concassés à la grosseur du poing, à la confection et à la réfection de la sole.

Dans d'autres ateliers, on ajoute aux fragments de *bull-dogs* du minerai de fer riche, réduit en poussière. C'est ainsi que la plupart des forges du Staffordshire appliquent le minerai de fer de *Froghall* et le puddling-ore du nord, dont il a été question dans la première partie de notre travail (1).

II. *Appareils de cinglage et de corroyage.* — Le *marteau frontal* et le *marteau-pilon*, voilà les seuls outils que l'on rencontre dans les ateliers de *cinglage* et de *corroyage* pour marques ordinaires.

La plupart des forges qui se livrent à cette fabrication étant d'ancienne date, ont conservé le *marteau frontal*, sans aucune modification aux formes et dimensions données à cet outil dès les débuts de la méthode anglaise. Le marteau frontal y sert donc au cinglage des loupes et plus rarement au corroyage des paquets: le modèle appliqué au premier usage pèse 5 à 6 tonnes, et le marteau de corroyage 7 à 8.

(1) Enfin, certains hauts fourneaux du Staffordshire emploient ces bull-dogs comme minerais; mais ils n'en obtiennent que des fontes tout à fait inférieures. Il n'est pas probable, en effet, que la liquation des scories de forge puisse les dépouiller des impuretés qu'elles renferment. Il faudrait, au reste, des analyses comparatives pour trancher la question.

Les *marteaux-pilons* se rencontrent plus particulièment dans les établissements de création récente. Ils appartiennent le plus généralement au modèle simple, adopté par les premiers constructeurs de cet appareil en France et en Angleterre : deux supports verticaux avec chapiteau servant de base à un cylindre à vapeur à simple effet. Le piston porte et conduit directement le marteau proprement dit. Des poids de 1 tonne 1/2 à 2 tonnes et des courses de $0^m,80$ à $1^m,30$, voilà, encore aujourd'hui, les conditions d'établissement des pilons dans les forges à fers marchands.

En Angleterre, aussi bien qu'en France, beaucoup de chefs de fabrication estiment que ces appareils valent au moins les marteaux frontaux pour la compression du fer brut comme pour le soudage des paquets à corroyer. Loin de s'arrêter au reproche, qu'on a fait quelquefois à ces outils, de se prêter au ménagement des loupes de qualité inférieure, ils voient plutôt un avantage dans la facilité avec laquelle se règle leur action, selon la nature et l'état calorifique du métal.

Si donc, encore aujourd'hui, le marteau frontal est plus répandu que le pilon dans les forges anglaises, cela tient d'abord, nous le répétons, à l'ancienneté de la plupart de ces ateliers, et, en outre, à l'économie du premier établissement d'un marteau frontal. Les petits pilons à vapeur pour cinglage et corroyage des fers marchands coûtent, en effet, plus cher que les marteaux frontaux correspondants.

Perfectionnements des marteaux-pilons. — Avant de laisser le chapitre du martelage, disons encore un mot de quelques autres pilons moins usités jusqu'ici. S'ils sont aujourd'hui plus rares que les précédents dans les forges ordinaires, ils sont peut-être appelés à rendre à l'avenir de vrais services aux fabrications spéciales qui s'y répandent tous les jours davantage.

Les deux principales modifications apportées, par les con-

structeurs anglais, dans l'établissement des pilons sont : 1° le règlement de ces outils par eux-mêmes, 2° l'accroissement de leur puissance.

Pilons self-acting. En quels cas ils conviennent. — Les marteaux *Nasmyth* et *Naylor* appartiennent tous deux au système dit *self-acting*, c'est-à-dire se réglant de lui-même. Il a fallu, pour rendre ces pilons automoteurs, des mécanismes nombreux et compliqués, des encliquetages, des articulations et jusqu'à des ressorts, tous organes d'un dérangement facile et d'un entretien coûteux (1). Au point de vue spécial du cinglage et du corroyage ordinaires, c'était sacrifier la simplicité à une précision inutile, sans réduire notablement la main-d'œuvre ; il faut toujours, en effet, au pilon, un homme ou un gamin pour régler les coups et manœuvrer les leviers d'encliquetage. Ces marteaux conviennent donc fort peu aux forges à fers marchands. Par les mêmes raisons ils ne conviennent guère mieux aux fabrications spéciales qui exigent des martelages énergiques lents, à coups peu répétés. Au contraire, dans la préparation de petits échantillons, notamment de petits échantillons à profil ouvragé, là où les coups de marteau se succèdent rapidement, le principe du *self-acting* semble devoir produire les meilleurs effets : avec un pilon ordinaire, la main de l'homme communiquerait difficilement au piston la vitesse nécessaire à un semblable travail.

Pilon Condie et Morrisson. Avantages et inconvénients. — Tout en conservant quelquefois le principe du *selfacting*, d'autres constructeurs, pour accroître la puissance des pilons, y ont apporté des modifications plus radicales : nous citerons comme exemples les marteaux *Morrisson* (de Newcastle) et *Condie* (de Glasgow).

(1) Voyez la description du pilon Nasmyth dans l'Appendice au *Traité de la fabrication de la fonte*, par M. Valérius, pages 685 et suivantes. — Paris, 1851.

Ces deux inventeurs, en proposant leurs systèmes, avaient d'abord en vue le travail de forgerie des grosses œuvres plutôt que celui des forges à fer proprement dites. Ils durent donc rechercher une puissance proportionnée aux énormes dimensions de pièces à fabriquer pour la grande construction, notamment pour la construction maritime.

Dans ces conditions, ils devaient viser à l'accroissement de la hauteur de chute et des dimensions, tant du cylindre à vapeur que du marteau et des bâtis. Mais alors, avec le modèle du pilon primitif, il devenait difficile de conserver à l'appareil une stabilité suffisamment garantie, à cause de la surélévation du centre de gravité.

M. *Morrisson* rétablit la stabilité du pilon en reliant les montants, immédiatement au-dessus de la courbe que forment leurs pieds, par le cylindre lui-même, boulonné et fixé en porte-à-faux sur les bâtis. En renforçant l'arrière de ceux-ci, on fait aisément contre-poids à ce porte-à-faux. Comme autre particularité, le pilon Morrisson présente une tige beaucoup plus grosse que les modèles ordinaires et destinée à faire une bonne partie du poids total du marteau. Il a enfin l'avantage de permettre l'approchage de l'enclume sur tout un demi-cercle.

M. *Condie* a fait du cylindre à vapeur la tête même du pilon : pour cela, il l'a rendu mobile, lui a donné un piston fixe et une tige tubulaire qui, amenant la vapeur sur le fond supérieur du cylindre, communique alternativement avec l'admission et avec l'exhaustion.

Dans cette combinaison, les supports peuvent se disposer comme dans les pilons ordinaires, mais la hauteur totale de cet appareil est diminuée à peu près de toute la longueur du cylindre, ce qui augmente sa stabilité.

Le premier appareil monté sur ce modèle l'a été pour l'un des grands ateliers de construction de Glasgow. Le poids du pilon y était de 6 à 7 tonnes, et la course du cy-

lindre de 2 mètres à $2^m,20$. Malgré l'intensité des chocs produits par cet appareil, il ne paraît pas que le cylindre-marteau, construit d'ailleurs en fonte excessivement tenace, ait subi d'altération notable, comme on pouvait le redouter *à priori*. Les résultats se seraient d'ailleurs montrés assez satisfaisants pour déterminer quelques forges proprement dites à adopter ce système. Ainsi, lors de notre visite aux forges et fonderies de *Govan* (près Glasgow), un pilon de ce modèle gigantesque était sur chantier, commandé par un des établissements du pays de Galles (1).

Nous avons vu dans la même forge de Govan cingler les loupes brutes avec un petit pilon Condie dont le *cylindre-marteau*, armé de sa panne, pesait $2^t,50$. Mais, nous le répétons, ces systèmes ne sont point faits pour les forges ordinaires. Les deux marteaux *Morrisson* et *Condie* conviendraient, au contraire, au corroyage des énormes paquets que les gros fers profilés ont introduits récemment dans les forges. Toutefois, en voyant nos forgeries les plus importantes tirer si bon parti des anciens modèles de pilons et, dans les cas où la puissance est le plus nécessaire, balancer l'instabilité qui résulte de l'accroissement des dimensions, par l'élargissement de la base et le report des masses vers le bas, nous sommes portés à douter qu'il soit nécessaire de recourir aux modifications radicales de MM. *Morrisson* et *Condie*.

III. *Appareils de laminage* (*trains de puddlage et de finissage*).— Les laminoirs à fers marchands et leurs machines motrices n'ont guère subi de changements depuis l'époque des *voyages métallurgiques*. Ce n'est point dans les établissements du Staffordshire qu'il faut chercher des modèles d'installations mécaniques perfectionnées. Au reste, la nature même du travail pour fers marchands (bonnes mar-

(1) Les pilons de ce système sont également répandus en Allemagne.

ques ordinaires), ne comporte pas dans les outils de laminage une rapidité de travail et une capacité de production comparables à celles qu'on a recherchées ailleurs dans la fabrication des barres communes et surtout des fers spéciaux. Aussi les forges vouées au travail en marques ordinaires, qui se sont récemment établies, tant dans le *Staffordshire* que *dans le Cleveland*, *en Écosse*, etc., ne présentent-elles, à cet égard, que des différences insignifiantes avec les plus anciennes. Nous nous bornerons donc à signaler quelques traits généraux de cette partie de l'outillage des forges.

Division de la force motricc. — Et d'abord parlons d'un principe de construction qui semble prévaloir dans les forges de création récente : nous voulons dire la division et la répartition de machines à vapeur qui donnent le mouvement aux divers mécanismes. Presque toujours chaque train a son moteur. On estime que la régularité qui résulte de cette indépendance des divers outils d'une forge compense largement quelques frais supplémentaires de premier établissement. Une autre conséquence de cette division de la force motrice, c'est la possibilité d'employer les machines horizonzales. Si ce système est inférieur à celui des machines verticales à balancier quand il s'agit de hautes puissances, comme en réclamaient les trains multiples, il devient, au contraire, très-admissible quand les dimensions du cylindre à vapeur, de son diamètre surtout, sont réduites en proportion de la division du travail.

Or, au point de vue de la disposition générale d'un atelier, il est incontestable que les machines horizontales sont préférables aux verticales par leur simplicité, par leur coût moins élevé, parce qu'enfin elles laissent plus de facilité à la surveillance du travail.

Service intérieur des ateliers. — Tout ce qui peut faciliter le service journalier est d'ailleurs, même dans les forges qui semblent d'abord le plus mal outillées, l'objet d'une

attention toute particulière. A ce sujet, nous citerons une installation plus fréquente chez nos voisins que chez nous : celle des *grues à portée des laminoirs*. A l'aide de ces engins, les changements de cylindres, déjà moins fréquents en Angleterre qu'ailleurs, par suite d'une spécialisation plus grande des fabrications, s'effectuent avec une rapidité remarquable. Nous avons assisté plusieurs fois à cette opération ; nous l'avons vu faire en 20 ou 25 minutes pour cylindres marchands (barres de première classe) ; et en 12 ou 15 pour cylindres de moyen et petit mill.

Train de puddlage. — Le train de puddlage comprend ordinairement deux cages : l'une *dégrossisseuse*, à cannelures ogives (gothiques, comme on les appelle en Angleterre) ; l'autre *finisseuse*, à cannelures rectangulaires en nombre et de dimensions convenables pour produire des barres brutes plates, depuis 2 1/2 jusqu'à 7 pouces de largeur sur 1/2 à 2 pouces d'épaisseur. Quelques usines du Staffordshire et d'Écosse ont adapté au train de puddlage une troisième cage pour la préparation de largets de 7 à 14 ou 15 pouces. Ces largets, en fer cinglé quelquefois à double chaude, sont destinés aux couvertes, pour paquets de tôlerie, par exemple.

Les diamètres des cylindres varient de 18 à 20 pouces ($0^m,45$ à $0^m,50$), et la longueur de la table a de 3 1/2 à 4 ou 5 pieds (1 mètre à $1^m,50$). Leur vitesse est presque toujours comprise entre 25 et 30 tours, atteignant rarement 40.

Le train finisseur ou marchand est généralement installé pour faire toutes les variétés de barres *comprises dans la première classe* de dimensions. Il dispose à cet effet d'un nombre de paires de cylindres correspondant aux formes quarrées, rondes ou plates et aux séries de dimensions de chaque forme. Cependant les forges dont la fabrication est active divisent souvent la production des barres de première classe entre deux trains, qui correspondraient alors à ce qu'on appelle en France *gros* et *moyen mill*.

On évite assez généralement la multiplication des cannelures finisseuses sur une même cage, trouvant avantage à avoir des longueurs de table réduites; on a ainsi des cylindres plus maniables, circonstance qui contribue encore à rendre plus rapides les manœuvres de changements.

La cage dégrossisseuse comprend une ou deux, quelquefois trois cannelures rectangulaires non emboîtantes dites *cannelures soudantes*. A celles-là succèdent quatre ou cinq cannelures ogives ou gothiques. Quant à la cage finisseuse, elle comprend un nombre de *cannelures profilantes* proportionné à la dimension définitive de la barre, mais dépendant aussi de la nature du fer. Cette dernière condition fait que d'une forge à l'autre, en Angleterre comme en France, la loi de décroissance des cannelures varie.

Comme partout, les deux cages précédentes sont, en Angleterre, suivies d'une troisième (les espatards) pour le polissage des petits fers.

Les cylindres ont de 12 à 16 pouces (0m,30 à 0m,40) de diamètre, une longueur de table de 4 à 6 pieds (1m,20 à 1m,80) à la dégrossisseuse, et de 3 pieds à 3 pieds 1/2 (0m,92 à 1m,08) à la finisseuse. Ils tournent avec une vitesse variable de 60 à 70, quelquefois 75 tours pour les plus petits échantillons de la première classe.

Vitesse des laminoirs. — Nous verrons, dans la section suivante, que, pour fers de qualité inférieure, les laminoirs tournent plus vite soit au puddlage, soit au finissage.

Mais cette différence ne tient pas, comme on serait tenté de le croire, à la routine d'anciens établissements. Il faut l'attribuer d'abord à la différence de dureté des fers : le fer du Staffordshire est, en effet, plus dur que le fer de Galles, et cela par deux causes qui sont :

1° Le mode même d'affinage;

2° Le cinglage soigné au marteau, sous lequel le fer prend une densité supérieure à celle qu'il reçoit des squeezers ou des presses rotatives.

Et puis les fers inférieurs, presque toujours fort rouverains, demandent un laminage plus rapide pour passer sans criques.

§ 4. *Principales circonstances du travail en fer brut (fer n° 1 ou puddled bars).*

La charge d'un four à puddler est de 4 à 4 qx 1/2 = 200 à 220 kil.).

Les parois et la sole étant regarnies de battitures de laminoirs finisseurs, on y charge la fonte froide. Amenée à l'état complétement liquide, en trente-cinq à quarante minutes, elle est brassée, à température réduite, sous une abondante couche de scories, pendant trente ou trente-cinq minutes. Le nombre *des crochets* que réclame ce brassage varie avec la nature des charges : avec de la fonte grise exclusivement, il s'élève à 5 ou 6, quelquefois même à 7 ; avec des mélanges de 2/3 à 3/4 brut pour 1/3 à 1/4 de fine-metal blanc lamelleux, il oscille de 4 à 5, atteignant rarement 6.

Souvent, pour maintenir plus aisément la pâtosité des matières, c'est-à-dire pour accélérer le travail, le puddleur ajoute à plusieurs reprises des battitures froides ; mais c'est une pratique condamnable au point de vue de la qualité et qu'on ne retrouve pas dans les forges les plus soigneuses.

Quand l'effervescence a cessé et que le fer commence à grainer, le puddleur relève son feu et brasse, en divisant et retournant la masse métallique au milieu de la scorie. Le soulèvement suit, puis la confection des loupes. Tout ce travail se fait en roulant les parties de fer dans un bain de scories abondant et toujours liquide : on ne les coule qu'après et jamais pendant l'opération. Le soulèvement et la confection des loupes durent de vingt à vingt-cinq minutes.

Divers procédés de cinglage. — On fait 4 ou 5 boules, rarement 6. Elles sont extraites du fourneau au fur et à mesure de leur confection et envoyées au martelage. Celles

dont on veut obtenir des barres pour l'intérieur des paquets de corroyage sont simplement martelées pendant quarante ou cinquante secondes.

Quand on veut, au contraire, en tirer, par laminage ultérieur, des largets pour couvertes de paquets, on suit l'une des deux méthodes suivantes *de doublage des loupes.*

1° La loupe est d'abord martelée à plat, puis repliée sur elle-même; on continue le martelage pour en souder les deux parties avant le laminage.

2° La loupe est d'abord cinglée pour bloom prismatique qu'on coupe à la tranche en deux bidons : ceux-ci sont superposés et soudés de la même chaude, ou après une demi-chaude supplémentaire au puddling même.

Enfin, pour couvertes réputées meilleures encore, on introduit dans le puddling, au moment où le fer a grainé, une dose plus ou moins élevée de bouts de barres (rognures), découpées en fragments de quelques centimètres cubes. Ces fragments, chauffés à blanc pendant la dernière partie de l'opération, sont incorporés dans la masse du fer brut, et les loupes obtenues sont cinglées par l'un ou l'autre des martelages modifiés dont il vient d'être question.

A quelqu'une de ces variétés qu'il appartienne, le bloom est encore, en sortant du cinglage, assez chaud pour passer immédiatement aux cages dégrossisseuses et finisseuses du train de puddlage.

Les barres qui sortent de ce travail sont remarquables par leur propreté et la netteté de leurs arêtes.

§ 5. *Produits et consommations de l'atelier de puddlage.*

I. *Staffordshire.* — Chaque puddling est desservi par deux hommes, un maître et un aide, par poste de douze heures. Ce personnel fait, pendant ce temps, 5 à 7 charges de 4 à 4 quintaux 1/2 ; savoir : 5 à 6 en fonte grise, et 6 à 7 en brut mélangé de 1/3 à 1/4 de floss mazé. Ces nombres

se réduisent respectivement à 5 et à 6 quand, au cinglage, on double les loupes, ou bien encore quand on pratique les additions de riblons vers la fin du puddlage.

Main-d'œuvre de puddlage et cinglage. — Suivant qu'ils font 5 ou 6 charges, les puddleurs reçoivent 8 ou 9 sh. par tonne de 2.400 livres de fer brut laminé. Dans les cas où l'on pratique sur une plus grande échelle les additions de riblons en fragments, la solde des puddleurs s'élève à 10 et même à 11 sh.

En tous cas, sur cette somme de 8, 9 ou 10 sh., le maître puddleur paye 2 sh. à 2 sh. 1/2, à son aide.

Déchet. — Pour barres brutes laminées, de lopins simplement martelés, le déchet varie de 1 quintal 1/2 à 2 quintaux sur 22 quintaux de fonte chargée: il atteint 2 quintaux 1/4 dans les cas de doublage des loupes au marteau; c'est par suite 7 à 10 p. 100.

Consommation de combustible. — La consommation de combustible au four à puddler est de 1 à $1^t,10$ par tonne de barres brutes. A cela, dans les nombreuses usines qui n'utilisent pas les flammes perdues, il faut ajouter de $0^t,25$ à $0^t,30$ de menue houille pour machines.

Entretien des fours. — L'entretien des soles et parois exige, par douze heures, 6 à 7 quintaux de 120 livres de bull-dogs et 2 à 3 quintaux de minerai riche. On y emploie, en outre, une dose variable de battitures des laminoirs finisseurs.

Main-d'œuvre. — Un marteau frontal ou un pilon peut desservir de 11 à 12 puddlings. Mais pour marteler, avec soin et avec doublages de loupes assez fréquents, une production totale de 12 ou 13 tonnes par douze heures, un marteau frontal exige deux marteleurs et deux aides qui alternent au travail, ce personnel recevant 1 sh. 9 d. par 2.400 liv. de barres simplement martelées, et 2 sh. 6 d. pour barres de doublages. Là-dessus les maîtres payent

2 sh. 6 d. par jour à chaque aide, et se partagent le surplus de la solde journalière. Ils gagnent ainsi environ 10 sh. chacun par 12 heures.

Un train de deux ou trois cages (la troisième pour les grands largets de couvertes) peut desservir 19 ou 20 puddlings, roulant au taux de production susdit. En 12 heures, le train ébaucheur pourrait donc passer 20 à 21 tonnes de barres brutes, de différentes largeurs. Ce roulement exige comme personnel : un maître et deux aides lamineurs, deux rattrapeurs et trois ou quatre gamins pour relever, traîner et dresser les barres. On donne généralement par 2,400 liv. de barres brutes de dimensions assorties : 1 sh. 3 d. au maître lamineur, qui paye, par jour, 2 sh. 6 d. à chaque aide, 3 sh. aux deux rattrapeurs réunis et 1 sh. 2 d. à chacun des gamins qu'il emploie : il lui reste donc 10 à 12 sh. par jour.

II. *Ecosse.* — Les fontes d'Écosse sont, nous le savons, plus siliceuses que les fontes grises d'affinage du Staffordshire : le puddlage direct des fontes brutes serait, par suite, plus long dans le premier que dans le second district. Les déchets surtout seraient plus élevés : les quelques forges écossaises qui puddlent directement les fontes grises ne consomment pas moins de 23 à 24 quintaux de fonte pour 20 quintaux de barres brutes ; le travail n'y dépasse pas 4 à 5 charges par 12 heures.

De là vient que, pour bonnes marques ordinaires, la majorité des forges d'Écosse mazent une partie des fontes brutes.

En ce cas, la somme des déchets partiels des deux opérations, puddlage et mazéage, compose un total au moins égal à celui que donnerait le puddlage direct : de même pour la consommation de combustible. Mais voici l'avantage définitif de ce mazéage partiel : il permet de passer directement au puddlage bouillant une certaine partie de fonte grise qui, pénible sinon impossible à traiter seule, s'é-

labore, au contraire, très-aisément, par mélange avec une dose variable de floss mazé blanc lamelleux.

Comme autre mélange de fontes soumises au puddlage, citons celui des fontes du Cumberland et du Lancashire, fontes grises d'hématite, renommées pour la qualité des fers qu'elles donnent par le puddlage direct. Les forges écossaises en ajoutent souvent jusqu'à 1/3 dans les charges du puddlage.

Enfin, pour *couvertes*, on puddle quelquefois tout en mazé d'Écosse; cependant ce travail, fréquent pour les tôles et autres fers spéciaux, est plus rare pour barres marchandes.

Voici quelques exemples de roulement du puddlage écossais :

1° *En floss mazé lamelleux de fonte d'Écosse, élaboré seul :* 7 charges de 4 quintaux (480 liv. = 216 kil.) par 12 heures; déchet 7 à 8 p. 100 ; consommation de houille 19 à 20 quintaux par 20 quintaux de *puddled bars*. Main-d'œuvre de puddlage 7 à 8 sh. selon qu'on cingle simplement ou qu'on double les loupes (1).

2° *En mélange de 1/2 à 1/4 floss lamelleux et 1/2 à 3/4 fonte grise n° 4 (Écosse* et *Lancashire)* : 6 à 7 charges ; déchet 8 à 10 p. 100 ; consommation de combustible un peu supérieure à la précédente; main-d'œuvre 7 sh. 6 d. à 8 sh. 6 d. suivant la méthode de cinglage qu'on applique.

3° *En fonte grise brute (Écosse n°s 3 et 4)* : 4 à 5 charges; déchet 15 ou 18 p. 100; houille de puddlage 25 à 26 quintaux par 20 quintaux de puddled bars; main-d'œuvre 10, 11 ou 12 sh.

Dans ces divers cas, le cinglage simple se paye 1 sh. 2 d.; le cinglage avec doublage 2 sh. 9 d.; le laminage 1 sh.

III. *Cleveland et Durham.* — Par les mêmes raisons qui viennent d'être données pour l'Écosse, le Cleveland prépare

---

(1) Dans tout ce qui concerne l'Écosse et le Cleveland, les prix de main-d'œuvre sont rapportés à la tonne de 2.240 liv. (1.016 kil.).

les bonnes marques ordinaires par des mélanges de fontes grises brutes et de floss lamelleux finés. Aussi les produits et consommations diffèrent-ils assez peu dans ces deux districts.

En mélanges de fontes brutes et de floss mazé lamelleux, on fait dans le Cleveland et dans le Durham de 6 à 7 charges par 12 heures : 6 dans le cas où la fonte grise prédomine; 7 dans le cas contraire; chaque charge pesant 4 quintaux à 4 quintaux 1/2. La main-d'œuvre (maître et aide) est de 8 sh. dans le premier et de 7 sh. 3 d. à 7 sh. 6 d. dans le second cas. La consommation de houille *noisette* est de 24 à 26 et même 27 quintaux par 20 quintaux de puddled bars. Le déchet est 8 à 10 p. 100. Enfin la main-d'œuvre totale de puddlage, cinglage, laminage, etc., s'élève à 13 sh. 9 d. et même 13 sh. 11 d. par tonne de barres brutes.

§ 6. *Principales circonstances du travail de finissage pour fers marchands* (n° 2) (*merchant iron*).

Quelles que soient les dimensions des barres, pourvu qu'elles rentrent dans les limites de la 1re classe et sous la marque « *bon ordinaire*, » les paquets de finissage comprennent : deux largets, couvertes de dessus et de dessous; entre ces couvertes, un nombre de plats bruts, moins larges, pour faire le poids de la pièce à obtenir.

Les largets de couvertes sont presque toujours, comme le reste du paquet, en *puddled bars* ou *fer* n° 1; mais c'est à ce fer de couvertes que s'appliquent les cinglages soignés, les doublages des loupes avec ou sans chaude supplémentaire, avec ou sans addition de riblons vers la fin du puddlage.

Ces soins équivalent à un demi-ballage si même ils ne valent pas mieux; les couvertes ainsi obtenues, outre qu'elles sont, par un bon martelage, épurées de leurs scories et parfaitement soudées, n'ont pas subi une action encore bien

prolongée du feu et de l'air : c'est un fer encore jeune et d'un soudage ultérieur facile.

Aussi les préfère-t-on aux couvertes en fer corroyé ou ballé n° 3, faites au laminoir exclusivement, et qui, exposées au feu et à l'air pendant une chaude de plus, ne se sont dépouillées de scories fusibles que pour se charger d'oxydes infusibles, qui, enfin, déjà peu ou mal soudées par elles-mêmes, ne comportent plus qu'une soudabilité insuffisante pour un bon finissage. Nombre de forges emploient cependant encore les couvertes ballées.

Les paquets, composés comme il vient d'être dit, sont chauffés au blanc soudant et, dans la plupart des forges, ils passent immédiatement au laminoir. Engagée d'abord dans les deux ou trois cannelures rectangulaires, non emboîtantes, la trousse s'y soude : elle passe ensuite dans les cannelures d'étirage (gothiques et profilantes).

Mais un exemple sur dimensions déterminées achèvera mieux cette description du travail, en même temps qu'il nous donnera l'occasion de rapporter les produits et consommations.

§ 7. *Produits et consommations du finissage des barres quarrées de 1 pouce de côté* (0^m,025) (*forges du Staffordshire*).

Poids et composition des paquets. — Le paquet comprenait :

Deux couvertes (*top and bottom plates*) en fer de loupe doublé, de 4 pouces de large et 3/4 pouce d'épaisseur. Entre ces deux couvertes, quatre barres brutes de même largeur et de 5/4 pouce d'épaisseur.

Il présentait ainsi une section de 4 pouces de large sur 6 pouces à 6 pouces 1/4 de haut, sa longueur étant de 1 pied 6 pouces et son poids de 100 livres (45 kil.).

Matériel en fours et laminoirs. — Deux fourneaux recevaient à la fois chacun 18 paquets pareils. Le fer amené au

rouge blanc passait par deux cannelures rectangulaires et suivait dans cinq autres en ogive; enfin quatre cannelures quarrées profilaient la barre.

Les cylindres avaient 12 pouces de diamètre et tournaient à 75 tours par minute. Les deux cages laminaient simultanément, chacune étant desservie par un personnel spécial.

Force motrice. — La force nominale de la machine motrice était estimée à 35 ou 40 chevaux.

Personnel. — Le personnel nécessaire aux deux cages se composait de :

	sh.	d.	h.
2 chauffeurs gagnant moyennement chacun.	8	0	par 12
1 chef lamineur	12 à 14	0	*id.*
2 tireurs ou rattrapeurs.	2	6	*id.*
2 releveurs.	1	2	*id.*
3 ou 4 gamins pour traîner ou dresser les barres	1 à 1	2	

(Toutes moyennes calculées sur une solde totale de 5 à 5sh 2d par 2.400 liv. de barres finies.)

Production par 12 heures. Déchet. — Dans ces conditions, les deux fours et les deux cages produisaient, par 12 heures, 9 tonnes de 2.400 livres en barres finies et affranchies (1). Le déchet était de 3 quintaux 3/4, dont 1 quintal 3/4 au réchauffage et 2 quintaux en rognures et rebuts, par 23 quintaux 3/4 de fer employé, soit 15 p. 100, dont 5 à 6 au réchauffage et 9 à 10 en rognures et rebuts.

Consommation de houille. — D'après cela, les deux fourneaux recevaient par 12 heures 10t,70 de 2.400 livres, soit 214 quintaux ou encore 256 paquets de 100 livres. Ils passaient donc 128 paquets, soit 7 charges par 12 heures, et consommaient, pendant le même temps, 4 à 5 tonnes 1/2

(1) On estime, dans le Staffordshire, que la production d'un four à réchauffer peut s'élever de 9 à 12 et à 14 tonnes par 24 heures en ronds ou quarrés de 1 po., 1 po. 1/2 à 2 po., 2 et 3 po. de diamètre ou de côté.

de 2.600 livres de houille, c'est-à-dire 50 à 55 p. 100 du fer fini.

Le laminage d'une chaude durait 30 à 35 minutes, ce qui porte la durée du travail effectif du personnel à 7 ou 8 heures.

A la consommation de houille sus-indiquée, il faut ajouter $0^t,20$ à $0^t,25$ de menu de chaudière.

Main-d'œuvre. — De même, à la main-d'œuvre de laminage et de réchauffage, il faut ajouter les frais de changement d'équipages : 1 sh. par paire changée ; les frais de transports intérieurs de houille, fers bruts ou finis et scories : 7 d. à 1 sh. par tonne ; les frais de pesage et de cisaillage : 1 sh. ; ceux de paquetage et accessoires : 11 d. ; les journées de machinistes et chauffeurs, de maçons, tourneurs de cylindres, etc. ; soit en tout environ, 5 à 6 sh. par tonne de 2.400 livres.

Ces conditions de finissage d'une barre quarrée diffèrent peu de celles des barres rondes ou plates de dimensions correspondantes. Pour les barres de première classe, de sections plus grandes ou plus petites, les déchets de feu, les rebuts et rognures, la consommation de combustible oscillent sans doute tantôt en dessus tantôt en dessous des chiffres que nous rapportons ci-dessus. Mais les productions journalières doivent se tenir entre 10 à 12 tonnes par 24 heures et par four, car les chiffres de main-d'œuvre directe ou indirecte de l'exemple précédent s'appliquent à tous les échantillons rangés dans la première classe.

Résultats du finissage dans les autres districts. — Ces prix faits de la main-d'œuvre, assez uniformes dans tout le Staffordshire, sont encore à très-peu près les mêmes dans les établissements de l'*Écosse* et du *Cleveland*, voués à la même fabrication. Cela ressort du tableau suivant, extrait des livres d'une forge écossaise :

Barres quarrées ou rondes et plats correspondants	de $7/8^{po}$ à 4^{po} exclusivem^{t}		de $7/16$ à $7/8^{po}$ et 4 à 4^{po} 1/4	
Prix fait de paquetage (piling) par tonne de 2.240 liv. (1.015 kil.)	0^{sh} 8^{d} 1/2		» »	
Prix fait du réchauffage (heating)	2^{sh} 0^{d}	5^{sh} 1^{d}	2^{sh} 4^{d}	6^{h} 5^{d}
Prix fait du laminage (rolling)	3 1		4^{sh} 1^{d}	

Les déchets et autres consommations des forges d'Écosse et du Cleveland ne diffèrent pas non plus assez de ceux du Staffordshire pour que nous nous y arrêtions plus longtemps ici. Ce que nous dirons des prix de revient dans le chapitre suivant suffira pour compléter les renseignements sur ce sujet.

§ 8. *Qualité et usages des marques* bon ordinaire.

Nous ne revenons pas sur les nuances de qualité que comporte cette marque, nuances dont nous avons montré les raisons dans la nature des fontes, § 2. Pour nous borner aussi au district qui produit la majeure partie des barres « *bon ordinaire,* » rappelons que c'est avec cette marque que le Staffordshire alimente la plupart des ateliers d'élaboration secondaire non-seulement de l'Angleterre, mais encore de tous les pays tributaires de la Grande-Bretagne pour leurs approvisionnements en fers.

Nature des fers du Staffordshire. — Depuis les ouvrages de serrurerie jusqu'aux travaux de forge pour constructions diverses, on n'y emploie point d'autre matière première. Cet usage général à chaud semblerait prouver que ces fers ne passent pas pour très-rouverins : ils ne le sont point assez, en effet, pour qu'avec un peu d'habileté chez les consommateurs, on ne les puisse élaborer à chaud, sans grands dangers de rebuts. Nous avons pu nous procurer, au ministère de la marine, quelques résultats d'expériences faites à *Brest*, sur les fers laminés du Staffordshire. Quoique ces fers provinssent d'une des forges les plus réputées pour la qualité, d'une forge qui emploie même une forte proportion

de fontes grises au coke et à l'air froid (fontes de minerai houiller exclusivement), les susdites expériences contredisent ce qui précède sur la qualité à chaud des fers du Staffordshire.

Mais il faut tenir grand compte des exigences de nos ateliers maritimes, habitués depuis longtemps à ne consommer que de bons fers au bois; il faut savoir les conditions de leurs expériences; les voici quant à l'épreuve du perçage à chaud :

« Sur une barre chauffée au blanc, on percera consécu-« tivement, dans un bout de cette barre, deux trous paral-« lèles d'un diamètre égal aux deux tiers de la largeur « du fer pour les fers plats, aux trois quarts pour les fers « carrés ou ronds. Les fers ronds, pour subir cette épreuve, « devront être aplatis du tiers environ de leur diamètre. La « distance entre les trous sera égale au diamètre de chacun « des trous. Le premier trou devra se trouver à une distance « de l'extrémité de la barre égale à une fois et demie ce « diamètre.

« Cette épreuve s'applique à tous les échantillons, mais « elle a lieu en une seule chaude pour les fers quarrés et « ronds ayant jusqu'à 60 millimètres de côté et 70 milli-« mètres de diamètre, ainsi que pour les fers plats de moins « de 60 millimètres d'épaisseur, tandis que pour les échan-« tillons supérieurs, elle a lieu en deux chaudes.

« Le fer, dans l'épreuve dont il s'agit, ne devra ni se « fendre ni se gercer d'une manière sensible. »

Outre ces essais à chaud, la marine fait encore subir jusqu'à trois redressements d'une même chaude. redressements à 90°, pendant lesquels les criques ne doivent point dépasser certaines dimensions.

On voit combien cette épreuve est sévère, combien elle peut le devenir encore plus entre les mains d'un forgeron habitué au travail d'excellents fers. Aussi de ce qu'au perçage à chaud, les fers laminés du Staffordshire ont donné de

fortes criques, il n'en faut pas conclure qu'ils soient impropres à la plupart des usages à chaud. Encore une fois, il vaut mieux à cet égard s'en rapporter à la pratique des ateliers anglais.

Les mêmes fers ont été essayés à froid, conformément au programme suivant :

« ...... Le fer sera rompu sans incision au moyen d'un « marteau à bras du poids de 12 kil. pour les gros échan- « tillons et de 8 kil. pour les petits. Ces marteaux sont ma- « nœuvrés à tour de bras par *des frappeurs de profession.* « Le fer, dans cette épreuve, ne devra se briser qu'après « avoir été ployé et redressé au moins quatre fois ; ces « ploiements auront lieu en sens opposé ; la section de rup- « ture aura l'apparence d'une déchirure et ne devra montrer « que du nerf.

« On mesurera à la presse hydraulique la ténacité et « l'allongement des barres. Cette épreuve aura lieu sur les « équarrissages et diamètres naturels de 16 à 40 millimètres « par un étirage à chaud, exécuté transversalement à l'en- « clume et *sans parage.* Les barres essayées auront toutes « 1 mètre de longueur dans la partie égale au calibre où « doit s'effectuer la rupture.

« La ténacité des barres en essai ne devra pas être « trouvée inférieure à 32 kil. par millimètre quarré et l'al- « longement à la rupture devra être au-dessus de 16 « p. 100. »

Les résultats donnés par les fers laminés du Staffordshire ont été les suivants :

Ils avaient un grain moyen et un nerf court de couleur gris sombre ; ployés à froid, à 90° et redressés, ils cassaient net au deuxième redressement, au lieu de supporter les quatre exigés. Ils offraient *une ténacité convenable* à la presse hydraulique, mais ils y prenaient un allongement exagéré.

Ces résultats concordent assez bien avec ceux de la pratique des ateliers anglais ; on y a toujours reconnu aux

bonnes barres ordinaires du Staffordshire le défaut de casser à froid. Aussi est-ce pour les applications qui réclament de la résistance à froid que se préparent surtout les diverses sortes de fers améliorés, dont nous allons maintenant nous occuper.

CHAPITRE II.

FABRICATION DES BARRES DE 1re CLASSE AMÉLIORÉES. FERS DE RIBLONS. CAS PARTICULIER DES MARQUES SUPÉRIEURES DE LOWMOOR, BOWLING, ETC.

---

§ 1. *Variétés best et best best.*

Influence de la qualité des matières premières et des procédés de fabrication. — Sous les noms de fers améliorés (*meilleur* et *meilleur meilleur*), la plupart des forges fabriquent des produits de nature assez variable.

Dans les unes, la qualité *best* est tout uniment un fer n° 3 obtenu avec du fer corroyé (n° 2) plus ou moins mélangé de fer brut (n° 1). Le nom de *reworked iron* (fer retravaillé), que porte alors ce produit dans la nomenclature des ateliers, résume son mode de fabrication. Assez souvent aussi, dans ce cas, le choix des fontes soumises au puddlage direct est plus sévère, l'amélioration tenant ainsi à la fois à la nature des matières premières et à des élaborations plus multipliées.

Dans d'autres forges, le *best* est du fer n° 2 provenant du corroyage d'un fer n° 1 obtenu lui-même de menus riblons, puddlés comme il a été déjà dit, et parfaitement cinglés au marteau avant laminage. Ce produit porte alors le nom de *scraps iron*.

Dans ces deux premiers cas, les paquets ne sont pas exclusivement formés de fers déjà corroyés ou de riblons; ces produits y entrent seulement dans une proportion plus élevée que dans les trousses pour barres ordinaires. Quand,

au contraire, ils en composent la totalité, certaines usines qualifient déjà le produit de *barres best best*. Dans les forges plus soigneuses de la qualité, cette marque est enfin réservée aux fers dont le soudage et le corroyage se pratiquent exclusivement au marteau.

On voit, par là, que les désignations best et best best ne sauraient s'entendre dans un sens absolu, car elles ne répondent point à des produits de nature uniforme. Chaque forge fabrique ces deux marques; mais le best d'une usine ne correspond souvent qu'à la qualité ordinaire d'une autre.

Au sujet des procédés de fabrication de ces sortes améliorées, nous avons peu à ajouter à ce qui a été dit déjà.

Tant qu'il ne s'agit que de fer retravaillé (reworked iron), variété de best fort répandue, le travail de finissage ne diffère pas de celui exposé ci-dessus, sauf en ce qui concerne le paquetage.

Si la fabrication comporte en même temps un choix de fontes plus sévère, on recherche alors les fontes grises n[os] 3 et 4 du Lancashire et du Cumberland. Certaines forges d'*Écosse*, du *Pays de Galles* et même du *Staffordshire* emploient aussi, en pareil cas, les floss lamelleux provenant du mazéage rapide des fontes grises. Par l'un et par l'autre de ces choix on veut évidemment éviter dans les variétés best et best-best la présence du phosphore, c'est-à-dire le manque de résistance à froid que nous reprochions plus haut aux marques « *bon ordinaire* » du Staffordshire.

Fer de riblons. — Ajoutons quelques détails sur le cas spécial de l'amélioration par emploi de riblons.

Le puddlage des riblons, découpés en menus fragments, succède souvent, dans les mêmes fours, à celui des fontes. Les charges sont de 4 quintaux (200 kil.) environ; la chaude proprement dite dure une heure à une heure et quart, une heure et demie au plus, en y comprenant les intervalles des charges, le temps du cinglage et celui du doublage des loupes. On fait ainsi moyennement huit ou

neuf chaudes par douze heures, qui, avec un déchet de 6 à 7 p. 100, donnent 1 tonne 1/2 de barres n° 1 de différentes largeurs. La consommation de houille atteint 60 à 70 p. 100 du poids des barres produites. En raison de la plus forte production du four, les frais d'entretien de la sole et du cordon, qui s'usent d'ailleurs moins vite que dans le puddlage des fontes, sont aussi moins élevés que dans ce dernier cas.

Les frais de main-d'œuvre sont, par tonne de 2.400 liv. de barres n° 1 : puddlage 6 sh. 6 d.; cinglage 2 sh. à 2 sh. 6 d., le laminage et les autres manutentions étant les mêmes que pour fer brut ordinaire.

§ 2. *Fabrication des qualités supérieures.*

De transition en transition les procédés passent, à mesure qu'on s'élève dans l'ordre des qualités, de la formule ordinaire du *Staffordshire* à celles des usines de *Lowmoor* et *Bowling* où le marteau reprend le rôle et la place qu'il avait dans nos anciennes affineries au bois.

C'est de ces deux forges qu'on entend surtout parler quand il s'agit des qualités supérieures ou, mieux, exceptionnelles de l'Angleterre. Mais si ce genre de travail n'est point, comme dans ces deux premiers établissements, une spécialité exclusive, il est au moins accidentel dans un certain nombre d'autres. On se tromperait donc si l'on estimait la consommation de ces sortes au seul produit de *Lowmoor* et de *Bowling*. Nous citerons spécialement une des forges où nous avons vu cette fabrication en dehors du *Yorkshire*, c'est celle de *Tudhoé* dans le *Durham*.

Exemple de Tudhoé. — Cet exemple offre d'ailleurs un certain intérêt, à cause de la nature des fontes qu'on traite à Tudhoé; ce sont des fontes très-pures provenant de la fusion au coke d'un minerai assez rare en Angletere, du carbonate de fer spathique, espèce, comme on sait, riche en manganèse, fusible et réductible. Enfin nous avons

trouvé dans cette usine la mesure directe des parts d'influence respectivement attribuables à la nature des fontes et à la formule de travail sur la qualité des produits définitifs. Ces fontes de choix, traitées par un procédé semblable à celui du Staffordshire, donnent des fers comparables aux meilleures marques de ce district. Soumises, au contraire, à la méthode de travail suivie à Lowmoor, elles produisent des qualités à peu près égales à celles de cet établissement.

Fabrication de Lowmoor. — Terminons par quelques détails sur le procédé suivi à Lowmoor. Les fontes sont grises et à l'air froid. Les hauts fourneaux qui les donnent n'ont reçu, rappelons-le, aucune de ces modifications, aucun de ces agrandissements surtout, qu'on a adoptés ailleurs; le coke est choisi, provenant non-seulement de houilles réputées peu sulfureuses, mais encore fabriqué en plein air.

Nature des fontes. — Grâce à l'emploi de l'air froid, on peut déjà considérer les fontes de Lowmoor comme moins siliceuses que la plupart des fontes grises dont il a été question jusqu'ici. L'emploi d'un combustible de choix, joint à la présence du manganèse dans le minerai, ne laisse vraisemblablement pas de soufre en doses élevées dans ces fontes.

Malgré cette pureté, les fontes de Lowmoor sont mazées dans de petites fineries à quatre tuyères, avec un coke de choix; on coule la fonte dès qu'elle est transformée en floss blanc lamelleux.

Mazéage et puddlage: traits distinctifs. — Ce floss est, après refroidissement, introduit par charges de 3 quintaux seulement (150 à 160 kil.), dans un four à puddler à sole et parois garnies de scories grillées (bull dogs), d'hématite et de battitures. Ce fourneau est à cheminée libre et très-élevée, disposition qui garantit un tirage régulier et énergique comme le veut un bon puddlage chaud et bouillant. Une petite sole de chauffage préalable permet d'amener

les charges au rouge, avant leur introduction sur la sole du travail.

Dans ces conditions et avec un four bien chaud, la fusion d'une charge ne dure pas plus de vingt à vingt-cinq minutes. La fonte est d'ailleurs amenée à l'état de fluidité parfaite ainsi que la couche de scorie qui la recouvre.

Chaque chaude dure une heure vingt minutes environ : on en fait neuf par douze heures.

Ce travail semble d'abord très-rapide ; mais cette rapidité tient à ce que la durée de la fusion est abrégée par le chauffage préalable des charges. Elle tient aussi à la qualité du floss soumis au puddlage, à la faiblesse des charges, et non à une précipitation exagérée de l'opération : le brassage avec ou sans effervescence est mené, au contraire, fort lentement.

En raison de la haute température à laquelle se poursuit le travail, surtout vers la fin, les scories étant conservées dans le puddling et écoulées seulement après l'opération, on obtiendra ici, mieux encore que dans les divers cas précédents, des loupes propres, faciles à épurer des scories interposées, et généralement en fer *dur*, *aciéreux*.

Chaque charge de 3 quintaux donne seulement 3 ou 4 loupes de 40 à 45 kil., qu'on envoie immédiatement au marteau frontal : c'est le seul outil de cinglage dont on fasse usage à Lowmoor.

Ce cinglage transforme chaque loupe en *stamps* ou *blooms*, plaques quarrées de 30 à 32 centimètres de côté et de 5 à 6 d'épaisseur.

Triage des stamps brisés. — On brise ces plaques à froid, à l'aide d'un mouton à déclic, en petits fragments de 8 à 10 centimètres de longueur. On soumet ceux-ci à un triage sévère qui les divise :

1° *En fer à grain, dense, homogène et propre ;*

2° *En fer incomplétement affiné que l'on rend au puddleur ;*

3° *En fer mou, mélange de grain et de nerf, ou sali par interposition de scories.*

Remarquons ce trait de ressemblance de la méthode de Lowmoor avec les anciens procédés au bois appliqués à la préparation des aciers naturels; c'est par des triages semblables qu'on y assure l'uniformité et l'homogénéité des produits définitifs. Nous y reviendrons au sujet des aciers puddlés.

Traitement des fragments triés et assemblés en trousses.— Les fragments triés de ces diverses sortes sont assemblés séparément en trousses.

Les trousses, réchauffées au réverbère jusqu'au blanc soudant, sont corroyées au marteau pour prismes dont le poids et la longueur correspondent aux dimensions des barres à obtenir. Pour les poids et longueurs peu considérables, une seule chaude de corroyage suffit; il en faut deux, quelquefois trois pour des dimensions plus grandes. Là se trouve principalement le motif de la classification toute spéciale adoptée par les *prix courants* relatifs à ces qualités supérieures. (Voyez le tableau des prix courants anglais qui termine la section suivante.)

Les prismes corroyés sont réchauffés une dernière fois, mais seulement au rouge vif, chaleur suffisante pour l'étirage au laminoir.

Tel est l'ensemble du procédé de Lowmoor. Ajoutons encore que le travail en menus riblons, tel qu'il a été décrit précédemment, trouve ici une application analogue à celle que nous en avons vu faire dans les procédés d'amélioration. Le choix des riblons est peut-être un peu plus soigné dans le cas qui nous occupe; on applique le martelage pour stamps aux loupes de riblons comme aux loupes de fontes : voilà les seules particularités à noter.

Nous n'insisterons pas autrement sur les produits et consommations du procédé de Lowmoor; ce que nous avons dit et dirons encore des procédés du Staffordshire, de l'É-

cosse, etc.; ce que nous verrons plus tard, surtout au sujet des largets martelés pour fers noirs et fers blancs, suffira pour montrer à quoi tient principalement l'élévation des prix de revient de ces qualités supérieures.

Nature des produits. — Quant à la nature des fers ainsi obtenus, ce ne sont pas seulement les meilleurs de l'Angleterre; les prix qu'ils obtiennent sur le marché démontrent qu'on les préfère même aux barres de Suède ordinaires. Celles-ci se vendent parfois de 11 à 12 liv. seulement quand les fers de Lowmoor se cotent de 18 à 19 liv. la tonne de 1.015 kil.

CHAPITRE III.

FABRICATION DES BARRES DE 1[re] CLASSE : MARQUES INFÉRIEURES.

§ 1. *Formule de travail.*

Fabrication du pays de Galles. — De même que nous avons eu spécialement en vue le district du Staffordshire au sujet des barres «*bon ordinaire,*» de même c'est du pays de Galles qu'il sera surtout question dans ce chapitre. Nous ne voulons point dire par là que les autres districts, le Cleveland et même le Staffordshire, ne fabriquent point de qualités inférieures; nous montrerons, au contraire, qu'à cet égard cette dernière contrée a fait des progrès regrettables.

Traits caractéristiques de cette fabrication. — Nulle part l'emploi des scories de forge, dans les hauts fourneaux, pour fontes blanches truitées ou lamelleuses, ou grenues et caverneuses, ne s'est développé avec le caractère de généralité qu'il offre dans le pays de Galles. Les roulements précipités de ces immenses fournaises vomissant, par jour, de 30 à 40 tonnes de fonte à l'air chaud et au coke plus ou moins mélangé de houille, sont le premier terme d'une

formule de travail très-expéditive et très-économique, à laquelle se sont particulièrement attachées les forges galloises.

Cette formule se complète ainsi qu'il a été dit à la section précédente.

Dans toutes ses parties on retrouve la même hâte du travail ; nous avons déjà fait entrevoir que le cinglage aux presses rotatives ou ordinaires, comme le laminage, est alors mené très-rapidement. Mais le mazéage lui-même se fait ici par un procédé qu'on retrouve rarement ailleurs ; on fait couler directement la fonte liquide du haut fourneau à la mazerie. A cause de cette particularité et parce que son emploi est encore assez général dans le pays de Galles, nous compléterons ici ce que nous avions à dire de cette dernière manipulation.

§ 2. *Appareils.*

I. *Foyer de mazéage.* — Quelques mots seulement sur les *fineries* qui, sauf quelques agrandissements, ne diffèrent pas de celles adoptées dès les débuts de la méthode anglaise. Dans le pays de Galles, les mazeries ont le plus généralement deux ou trois tuyères sur chaque costière ; ce sont les *fineries doubles*, par opposition aux *fineries simples*, appliquées dans les divers districts du Royaume-Uni au mazéage des fontes grises pour floss blanc lamelleux (fabrications des chapitres précédents). Ces fineries simples ont quelquefois une ou deux tuyères sur chaque costière ; mais on en trouve aussi quelques-unes qui ne reçoivent le vent que par une ou deux tuyères disposées sur la rustine.

Mazéages à la sortie du haut fourneau. — Le mazéage de la fonte liquide à la sortie du haut fourneau, qui était à l'essai lors du dernier *voyage métallurgique*, est aujourd'hui fort répandu dans le pays de Galles. Rien n'a été changé, pour cela, au foyer de mazerie, qu'on a simple-

ment porté en avant de l'embrasure de travail, à peu de distance du haut fourneau.

Dimensions des mazeries. — Les dimensions ordinaires du vide intérieur des fineries doubles sont :

1° Pour quatre tuyères, 4 à 5 pieds de long sur 3 pieds 1/2 à 4 pieds de large ;

2° Pour six tuyères, 5 à 5 pieds 1/2 sur 4 pieds de large.

La profondeur est uniformément de 15 à 16 pouces. Les buses sont de 1 pouce 1/2 (0^m,037) de diamètre ; la direction de la tuyère fait avec l'horizontale un angle de 35 à 40°, le jet d'air allant frapper le fond à peu près au milieu de sa largeur.

Le vide intérieur des plus petites mazeries simples à une ou deux tuyères placées sur la rustine, présente une longueur de 2 pieds à 2 pieds 1/2 parallèlement au jet d'air, et 3 pieds perpendiculairement. La profondeur est de 12 pouces ; la plongée du vent n'est que de 10 à 15 pouces, le jet allant frapper la paroi antérieure du foyer à 3 ou 4 pouces au-dessus du fond.

II. *Fours à puddler et à réchauffer. Puddlings à sole de chauffage préalable.* — Sauf le mode de confection de la sole et du cordon, les puddlings et les heatings appliqués aux fers communs ne diffèrent pas de ceux dont il a été question précédemment : moins de profondeur de la sole sous la porte des puddlings ; entretien de la sole par les crasses mêmes du travail. Les carcasses ou dépôts qui s'accumulent sur la plaque de fonte deviennent même souvent trop abondants, et les puddleurs doivent les arracher et les niveler de temps en temps. La plupart des forges galloises ont adopté les petites soles de chauffage préalable ; mais, sauf dans quelques établissements nouveaux, pas de chaudières à flammes perdues ni sur les puddlings ni sur les heatings.

Puddlings soufflés. — Dans plusieurs usines galloises on a adopté ou plutôt essayé l'emploi d'un courant d'air forcé

sous la grille ; on a même tenté d'en lancer à la fois par-dessous et par-dessus la grille. Mais soit que les appareils proposés à ce sujet fussent trop compliqués, soit que le dosage d'air y fût trop difficile à régler sans modifier complétement les dispositions ordinaires des chauffes, cette tentative ne semble pas avoir donné de résultats satisfaisants et ne s'est pas répandue.

III. *Machines de cinglage. Presses rotatives.* — Les presses, *squeezers* simples ou doubles, sont connues partout aujourd'hui ; nous ne nous occuperons ici que des machines rotatives qui, en usage depuis une quinzaine d'années en Angleterre, ont remplacé les squeezers dans certaines usines à fers communs.

La première rotative essayée en Angleterre était d'invention américaine : c'était la machine de M. Burden, décrite par MM. Flachat, Petiet et Barrault, dans leur *Traité de la fabrication du fer* (1). Ce système consistait en une caisse en fonte dont la paroi intérieure, circulaire, était armée de dents. A l'intérieur était placé un cylindre excentrique par rapport à la caisse, cylindre dont la surface était également dentelée. Le vide annulaire réservé entre le cylindre et la caisse offrait ainsi, d'un côté, la largeur nécessaire à l'entrée des plus grosses loupes du puddlage, et, de l'autre, celle à laquelle devait être réduit le lopin pour entrer dans la première cannelure dégrossisseuse.

La caisse en fonte était fixe, mais le cylindre tournait autour de son axe, placé verticalement, au moyen d'une roue d'angle portée par celui-ci et engrenant avec l'arbre moteur du train de dégrossissage.

Ce mode de transmission et la charpente métallique spéciale qu'il exigeait constituaient déjà des causes d'infériorité pour la rotative en question. Mais un inconvénient plus grave, comme l'observe justement M. Truran, ve-

(1) Voyez cet ouvrage, tome II, page 570.

nait de l'impossibilité d'y cingler le bloom suivant son axe.

Plusieurs moyens ont été proposés depuis pour parer à ces défauts de la presse Burden.

Rotative à axe horizontal. — On a d'abord disposé l'axe du cylindre intérieur C horizontalement (Pl. III, *fig.* 6 et 7); ses tourillons *b*, appuyés sur des paliers sont portés eux-mêmes par une charpente spéciale en fonte *ff*. Sur cette charpente est fixée une caisse AB excentrique, demi-cylindrique, enveloppant le cylindre intérieur comme dans le cas précédent. Le mouvement de rotation est communiqué au cylindre intérieur par un système d'engrenages semblable à celui des laminoirs. Ce système avait déjà plus de stabilité que le précédent. Pour lui permettre de comprimer le bloom suivant son axe, en même temps qu'il l'est entre la caisse et le cylindre intérieur, on avait adapté à cet appareil un mécanisme analogue à celui dont nous allons parler au sujet d'un troisième système. Ce mécanisme transmettait, à travers les plaques de support, une série de chocs au lopin. D'après M. Truran, cette seconde rotative, essayée pendant quelque temps, n'aurait point donné de résultats satisfaisants, et l'on en serait revenu aux squeezers ordinaires.

Rotative à compresseur latéral de J. Brown. — Nous avons vu nous-mêmes appliquer, dans une des grandes forges galloises, un troisième système, inventé dès 1847 par M. Jeremiah Brown. Ce système est représenté par les *fig.* 1, 2, 3, Pl. III.

La *fig.* 2 est une élévation latérale de l'appareil; la *fig.* 1, une coupe verticale par la ligne *ab* de la précédente.

La machine consiste en trois cylindres *a*, *b*, *c* dont les positions relatives sont représentées par la *fig.* 1, et qui tournent dans le même sens (*fig.* 3). Le cylindre inférieur *b* diffère des deux autres par un collet ou saillie *d* qu'il porte à chacune de ses extrémités : les tables des deux autres cylindres sont limitées en longueur par ces deux collets, entre

lesquels elles travaillent. Les paliers du cylindre *a* sont mobiles et l'étendue de leurs déplacements est réglée par les vis *ee*; de même les vis *ff* permettent un certain jeu du cylindre *c*, pour le cas où la loupe de fer est plus forte que d'ordinaire. Chacune des vis *ff* presse sur les extrémités de l'axe du cylindre *c*; les pignons *gg* fixés sur ces vis engrènent avec la roue *h*; à celle-ci, enfin, est attaché un levier *i* à contre-poids *j*.

Si une loupe trop forte est engagée entre les cylindres, la pression transmise au cylindre *c* fait reculer les vis *ff*. Quelques instants plus tard, quand la loupe a été comprimée et réduite d'épaisseur, la pression sur le cylindre *c* faiblissant, le levier à contre-poids le ramène par la rotation qu'il communique à la roue *h* et par suite aux vis *ff*.

Les cylindres, dans la position où les représente la *fig.* 1, ont achevé le cinglage de la loupe K, qui va quitter la machine. Une fois qu'elle est tombée, ils font 1/5 de révolution et peuvent recevoir une nouvelle boule.

Quant à celle qui est cinglée, elle tombe sur la plaque de base L; c'est alors qu'elle est comprimée parallèlement à son axe par le mécanisme suivant : *m* est une manivelle attachée à l'axe du cylindre inférieur; cette manivelle est reliée par la bielle *n* à un levier *o* dont dépend le bras *p*. Il est aisé de concevoir, d'après cela, que le bloom cinglé d'abord transversalement sera comprimé longitudinalement entre le bras P et un arrêt de fonte *q*, fixé au bâti de la machine. Mais cette compression longitudinale vient un peu tard et le lopin est déjà froid quand elle s'exerce. Aussi l'inventeur de cette machine l'a-t-il modifiée depuis, de différentes manières, en vue de parer à cet inconvénient.

Nous avons entre les mains copies de plusieurs brevets additionnels pris en 1856 et en 1858 par M. Jeremiah Brown. Dans l'un de ces brevets il relève le mécanisme de compression longitudinale, de manière à le faire agir pendant le passage même entre les trois cylindres excen-

triques. Pour cela il a besoin de mécanismes assez compliqués. Nous n'avons vu aucune de ces modifications appliquée dans les forges que nous avons visitées.

Au surplus, nous en avons dit assez pour montrer combien, en voulant supprimer la main de l'homme dans le cinglage et obtenir dans ce travail une continuité plus apparente que réelle, on a sacrifié la simplicité des appareils.

Inconvénients des presses rotatives. — Considérées indépendamment de leurs effets sur la qualité des fers, les presses rotatives sont des machines très-coûteuses de premier établissement, à cause des nombreuses pièces d'ajustage qu'elles renferment. Elles sont, de plus, d'un entretien difficile ; leurs moindres réparations occasionnent des arrêts assez longs. Dans l'une des forges du Durham, les plus récemment établies, on nous dit avoir renoncé à une presse *revolver*, pareille à celle de Henri Burden, par la raison qu'il fallait la changer tous les six mois.

IV. *Laminoirs dégrossisseurs et finisseurs.* — On retrouve chez les fabricants, dans cette partie de l'outillage des forges à fers communs, les signes de la même préoccupation qu'au sujet du cinglage : activer le travail et réduire la main-d'œuvre.

C'est par ces traits généraux que les laminoirs pour fers communs diffèrent de ceux dont il a été question précédemment. Les machines motrices du pays de Galles sont plus puissantes que celles du Staffordshire et les laminoirs tournent plus vite dans le premier que dans le second district. Les forges galloises ont encore volontiers recours aux grandes et puissantes machines à balanciers, appelées à desservir à la fois jusqu'à deux ou trois trains et tous leurs accessoires (presses, cisailles, dresseurs mécaniques, etc., etc.).

Le mouvement plus rapide des cylindres, la puissance plus grande des moteurs, permettent évidemment d'accroître dans une certaine mesure la production des trains :

cela est vrai surtout du train puddleur, où le nombre des passages est relativement réduit. Mais dans le cas du finissage, où les cannelures sont toujours plus multipliées, même en barres de grosses dimensions, le bénéfice des grandes vitesses et des moteurs puissants est beaucoup moins important. Le temps absorbé, entre les passages, par la manœuvre des paquets au-dessus, en avant, en arrière des cylindres, devient, en ce cas, la cause prédominante de la durée du laminage. Or cette cause est tout à fait indépendante de la vitesse des laminoirs. Aussi les trains finisseurs du pays de Galles, tout en tournant à 70 ou 80 tours, ne passent-ils pas une somme de barres finies notablement supérieure à celle que nous avons vue sortir des laminoirs du Staffordshire.

Tantatives faites pour accélérer le laminage. — On a cherché un autre remède aux pertes de temps et de chaleur qu'entraînent les manœuvres des paquets et des barres pendant leur laminage. Nous ne voulons point parler ici des releveurs mécaniques, des trios, des laminoirs alternatifs, tous appareils sur lesquels nous reviendrons avec plus d'à-propos quand nous traiterons des rails ou autres fers spéciaux ; nous voulons indiquer seulement une modification plus radicale qui a été tentée spécialement dans le laminage des barres brutes ou finies. Cette modification consiste à substituer, aux deux cages ordinaires, un certain nombre de paires de cylindres, disposées parallèlement et entre lesquelles s'engage successivement le paquet, la barre sortant finie de la dernière paire ou de la cannelure qu'elle porte.

Cette idée semble dater déjà d'assez loin : l'un des derniers brevets pris à ce sujet l'a été par M. Brown, l'inventeur de la rotative dont nous avons parlé ci-dessus (1).

(1) Plus récemment, un procédé semblable a été proposé et breveté en France et en Angleterre par un maître de forges de la Champagne.

N'ayant vu fonctionner dans aucun établissement le système de cet ingénieur, nous ne nous y arrêterons que pour observer qu'il diffère peu de ceux déjà proposés antérieurement pour le même objet. Sa seule particularité consiste dans la position des cinq ou six paires de cylindres parallèles sur une même charpente en fonte. Mais les reproches qu'on a pu faire aux autres dispositifs de ce genre seraient à reproduire contre celui de M. Brown. Des engrenages multipliés, un coût élevé de premier établissement, des frais exceptionnels d'entretien, des chances de chômages fréquents, détruisent l'avantage supposé d'une parfaite continuité de travail : voilà les premiers défauts de tous ces systèmes. La complication des transmissions tient particulièrement à la nécessité d'accroître la vitesse des cylindres successifs proportionnellement à l'étirage de la barre ou du paquet.

Un dernier inconvénient de ces appareils à travail *continu*, c'est qu'à moins de disposer sur chaque paire un nombre de cannelures assez grand, ce qui est contraire au principe même du système, les changements de cylindres occasionneraient des pertes de temps énormes.

§ 3. *Principales circonstances du travail des barres communes.*

I. *Mazéage* — Au sujet du mazéage, nous rapporterons non-seulement ce qui concerne le travail pour barres communes, mais aussi, par des raisons déjà dites, les circonstances principales du finage pour floss blancs lamelleux de qualité supérieure.

1° *Mazéage pour floss caverneux* (pays de Galles). Ce travail se pratique toujours dans des fineries doubles. Les unes reçoivent la fonte froide, les autres directement la fonte liquide (*running in finery*). Dans les deux cas, la charge varie de 1 tonne 1/2 à 2 tonnes.

Sauf les scories de forge, battitures ou crasses, qu'on n'emploie même pas toujours, on n'ajoute pas d'autres réactifs

fondants ou oxydants : la chaux, essayée dans quelques forges, améliorait cependant la qualité des produits.

Roulement des fineries à charge froide. — Dans le cas du chargement à froid, la fusion dure environ deux heures. A partir de là, la nature de la charge influe beaucoup sur la durée de l'opération : s'il s'agit, comme dans le cas qui nous occupe, de mazer des fontes blanches pour floss toujours plus ou moins soufflé ou caverneux, il suffit de quinze à vingt minutes, une demi-heure au plus, de vent après la fusion. L'ébullition, sous l'influence de l'air lancé au milieu du bain de fonte et de scorie, ne cesse pour ainsi dire pas depuis le moment où le métal a commencé de fondre jusqu'à l'instant de la coulée. Si l'on traite, au contraire, pour floss caverneux, des fontes grises, plus ou moins chaudes, il faudra souvent de trois quarts d'heure à une heure de vent.

Roulement des fineries recevant la fonte liquide. — Le mazéage de la fonte liquide, sortant du haut fourneau, marche naturellement plus vite que le précédent. Cependant la durée du travail n'y est point réduite, comme on pourrait d'abord le croire, de tout le temps nécessaire à la fusion de la fonte dans les mazeries ordinaires. Ce n'est, en effet, qu'en prolongeant l'action du vent sur le bain liquide qu'on parvient, dans le premier cas, à obtenir l'équivalent de la transformation que la fonte éprouve pendant la fusion même, dans le second.

Productions hebdomadaires. — La production hebdomadaire (5 journées 1/2 de 24 heures) d'un foyer chargeant la fonte froide, varie entre les limites suivantes :

1. En fonte blanche pour floss caverneux. . 100 à 120 tonnes.
2. En fonte grise pour floss caverneux . . . 60 à 80 tonnes.

La production des fineries en fonte liquide, blanche ou truitée, correspond généralement à celle des hauts fourneaux auxquels elles sont jointes. Elle varie entre 130, 150

et 160 tonnes de fin métal, ce qui correspond à des productions de hauts fourneaux de 150 à 180 tonnes par semaine.

Déchets. — Les déchets du mazéage pour floss caverneux dépendent, avant tout, de la nature des fontes. A cet égard, on reconnaît, dès cette première opération, que l'économie des roulements à fortes doses de scories de forge pour fontes très-impures, est, comme nous l'avons déjà dit ailleurs, moins grande qu'on ne le suppose. Tandis que les fontes à faibles doses de scories ne donnent guère que 10 p. 100 de déchet au mazéage, les fontes blanches pour fers tout à fait inférieurs, provenant de lits de fusion à 30 ou 40 p. 100 de scories de forge, perdent 14 à 18 p. 100 ; c'est-à-dire autant que les fontes grises les plus chaudes (fontes de blackbands écossais, par exemple). Observons, d'ailleurs, au sujet de ces déchets, que leur importance dépend beaucoup de la qualité du coke, de sa propreté et de la nature de ses cendres. Aussi les déchets des finages en fonte liquide sont-ils, toutes choses égales d'ailleurs, d'au moins 1 à 2 p. 100 inférieurs à ceux qui viennent d'être rapportés pour les mazeries à charge froide. De même que dans les hauts fourneaux l'économie de combustible a réduit la proportion de castine, de même dans le foyer de mazerie, l'économie du coke nécessaire à la fusion, provoque la réduction du déchet.

Consommation de combustible. — Le coke est le seul combustible appliqué au mazéage anglais. Plusieurs essais infructueux de substitution de la houille ou de l'anthracite au coke ont été faits dans le pays de Galles. On n'a pas été plus heureux dans les tentatives d'emploi de l'air chaud.

La consommation des fineries doubles, à charge froide, varie ainsi qu'il suit :

1. Mazéage des fontes blanches galloises pour floss caverneux :

— 6 quintaux de coke par 20 quintaux de fin métal = 30 p. 100.

2. Mazéage de fontes grises et vieux moulages : 8 à 8 quintaux 1/2 soit 40 à 42 p. 100.

Ces consommations sont réduites de 40 p. 100 par l'emploi de la fonte liquide.

Personnel et main-d'œuvre. — Quant au personnel ouvrier des fineries, il est fort restreint : par foyer à charge froide et par 12 heures, deux hommes, recevant ensemble 4 liv. 5 sh. à 4 liv. 10 sh. par semaine, suffisent aux productions hebdomadaires dont il a été question plus haut ; la main-d'œuvre est donc déjà peu considérable dans ce premier procédé. Mais elle est encore moindre dans une finerie en fonte liquide : un homme, aidé de sa femme ou de sa fille, et recevant de 3 liv. à 3 liv. 10 sh. par semaine de 5 jours 1/2, suffit au service du foyer.

2° *Mazéage pour floss lamelleux.* — Ce travail qui, rappelons-le encore, précède les puddlages chauds pour bonnes qualités ordinaires et même pour marques exceptionnelles, a un but tout différent de celui qu'on poursuit dans le pays de Galles. En raison de ce but, on n'applique jamais à ce cas le procédé de la coulée immédiate de la fonte du haut fourneau dans la finerie. On craint, avec juste raison, dans ce procédé, de n'être point assez maître du degré de mazéage avec de la fonte naturellement variable comme celle que peut donner un haut fourneau aux divers instants d'une même journée.

Quoique le peu d'avancement du mazéage semble devoir faciliter l'accroissement de la production, celle-ci est en général comparativement moindre que dans le cas précédent. Cela tient d'abord à ce qu'on ne traite guère ainsi que des fontes grises toujours un peu chaudes (fontes d'Écosse et du Cleveland, fontes à l'anthracite du pays de Galles (*Yniscedwin*, *Ystalifèra*, etc.), ensuite aux dimensions relativement faibles des foyers.

Le déchet varie de 10 à 15 p. 100 : la consommation de coke se tient entre 7 et 8 quintaux par 20 quintaux de floss

lamelleux = 35 à 40 p. 100. Enfin la main-d'œuvre est ici un peu plus élevée que dans le cas précédent à cause d'une production hebdomadaire un peu moindre.

Puddlage. Deux variétés principales. — Bien que les fers de Galles soient généralement considérés comme qualités inférieures, on y distingue cependant encore des nuances. Elles tiennent surtout au choix des fontes et au procédé de puddlage qu'on leur applique.

Des fontes blanches lamelleuses de hauts fourneaux au coke, mélangées à une proportion plus ou moins élevée de floss mazé provenant lui-même de lits de fusion où la dose de scories ne dépasse pas 1/10, donneront, par un puddlage à mi-bouillon, les meilleures marques ordinaires de Galles.

Au contraire, des fontes blanches plus ou moins grenues, de hauts fourneaux à la houille, avec lits de fusion tenant de 20 à 40 p. 100 de scories, ne donneront, par un puddlage sec, que des fers tout à fait inférieurs.

C'est entre ces deux qualités que se divise la production des barres marchandes galloises. Résumons rapidement les conditions du puddlage dans les deux cas.

1° *Puddlage à mi-bouillon.* — La charge est de 4 quintaux 1/2 de 120 liv. (230 kil.). Chauffée au rouge sur la petite sole, avant d'être introduite sur la grande, elle est, en moins d'un quart d'heure, ramollie de façon à permettre le brassage. Les scories qui restaient à la fin de l'opération précédente, jointes à celles que donne la charge pendant la fusion, dissolvent les quelques pelletées de crasses de cinglage ou de battitures que le puddleur jette sur le pourtour de la sole. Il se forme ainsi un bain, mais peu considérable, au milieu duquel le puddleur mène activement le brassage, sous une chaleur très-modérée. Ce brassage dure trente ou trente-cinq minutes ; une légère effervescence se manifeste pendant ce travail, mais pas de boursouflement comme dans le cas des puddlages chauds.

En dix ou quinze minutes après le brassage, le puddleur a fait ses loupes, au nombre de 5 ou 6.

L'opération dure donc d'une heure à une heure un quart. Ce travail est confié à un poste de deux hommes par douze heures; quand l'aide est un garçon de seize à dix-huit ans, déjà capable de remplacer le maître pendant une partie de l'opération, ce personnel fait aisément huit charges par douze heures. Cela donne, avec un déchet ordinaire de 12 p. 100, un produit journalier de 16 à 1.800 kil. de fer en barres brutes.

On paye au maître puddleur 5 sh. 4 d. par 2.400 liv. de puddled bars; là-dessus il donne 2 sh. par jour à son aide; il lui reste donc environ 7 sh. par douze heures.

La consommation de combustible est, par 20 quintaux de barres brutes, de 14 à 21 quintaux, selon que le menu sortant dont on use est plus ou moins fin et sec : c'est une consommation élevée.

2° *Puddlage sec.* — C'est un puddlage encore moins chaud que le précédent; la sole est presque constamment sèche. On y pratique de fréquentes additions d'eau, afin de faciliter la prise de nature du métal. On y emploie un personnel tout à fait insuffisant; un maître et un gamin de douze à quatorze ans pour aide. Aussi, malgré tous leurs efforts pour hâter l'affinage, ces deux ouvriers ne font-ils que sept à huit charges par douze heures.

Il va sans dire que dans ces conditions, le coût du puddlage est moindre; on ne paye que 4 sh. 8 d. par tonne (2.400 liv.) de puddled bars. Mais indépendamment de l'infériorité des fers obtenus, les déchets et consommations de combustible sont plus élevés dans ce cas que dans le précédent.

III. *Cinglage et laminage pour barres brutes.* — L'ancien squeezer, double ou simple, est encore l'outil de cinglage le plus ordinaire pour barres communes. Chaque loupe reçoit de vingt-cinq à trente ou trente-cinq coups de presse;

en travail continu, les squeezers simples, qui donnent généralement cinquante à soixante coups par minute, pourraient donc cingler deux loupes par minute, ou, mieux, la chaude d'un puddling en trois minutes. A ce taux, un squeezer simple pourrait desservir de vingt à vingt-deux fours à puddler : on ne dépasse pas pratiquement quatorze ou quinze. Souvent même, pour obtenir un cinglage un peu plus parfait, on emploie une presse par onze ou douze fours. Un cingleur aidé d'un petit gamin suffit à ce travail, pour lequel on paye 4 d. 1/2 à 5 d. par 20 quintaux de 120 liv. de barres brutes ; à ce prix, le cingleur gagne environ 7 sh. par douze heures.

Nous n'avons point vu appliquer les presses rotatives à la compression des fers bruts pour barres marchandes: on nous a seulement cité quelques usines du Staffordshire, qui produisent des fers communs par le cinglage au *revolver H. Burden*. Nous n'avons vu, en fonction, que la rotative *Jeremiah Brown*, dans une forge galloise qui fabriquait peu ou point de fers marchands, presque toute sa production consistant en rails de qualité ordinaire ou inférieure. C'est dire que le cinglage à la rotative s'appliquait là à des fers bruts très-médiocres. Quoi qu'il en soit, nous ajoutons, pour n'y plus revenir au sujet des rails, que la rotative *Brown* desservait vingt-cinq puddlings à huit charges par douze heures; elle remplaçait un squeezer double, sans réclamer de personnel spécial.

Le laminoir pour barres brutes dessert moyennement de seize à dix-huit fours, quelquefois quatorze ou quinze seulement. Pour ce service, il lui faut, à chaque cage, un personnel à peu près semblable à celui dont il a été question au sujet des bonnes marques ordinaires du Staffordshire.

Dans ces conditions et aux vitesses indiquées précédemment, ce personnel peut aisément laminer 25 et même 30 tonnes de barres brutes par douze heures. Le maître la-

mineur, chef de tout ce personnel, reçoit de 7 à 8 d. par tonne ; après avoir soldé ses aides, rattrapeurs, releveurs et traîneurs, il lui reste de 6 à 8 sh. par journée de douze heures.

IV. *Finissage des barres communes de première classe.* — Le paquetage est la seule partie de ce travail sur laquelle nous devions insister. Il se fait selon deux modes principaux qui correspondent aux deux nuances de la marque de Galles : *bon ordinaire* et *qualité inférieure.*

Pour la première sorte, on ne se borne pas à composer les paquets de barres brutes provenant du puddlage à mi-bouillon d'un mélange de brut et de mazé; on leur donne encore des couvertes en fer mazé et ballé. Il en résulte qu'il entre souvent 50 p. 100 de métal mazé dans cette première sorte de barres marchandes.

Dans les paquets de la seconde, il n'entre, au contraire, que des couvertes en fer mazé ; le corps est composé de fers bruts tout à fait inférieurs dont il a été parlé ci-dessus.

Pour l'une comme pour l'autre sorte, les paquets sont laminés et finis d'une seule chaude.

Les laminoirs, on le sait déjà, tournent plus vite que dans le Staffordshire, aussi les productions hebdomadaires sont-elles ici un peu plus considérables que dans ce district, et, par suite, les frais de main-d'œuvre légèrement moins élevés. La consommation de houille et le déchet ne diffèrent pas beaucoup, du moins pour les premières sortes galloises, de ceux du Staffordshire. Mais pour les sortes inférieures, le déchet de finissage est naturellement d'autant plus élevé que le puddlage a été moins soigné.

Ce que nous rapporterons plus tard des prix de revient complétera ces premières indications sur le finissage des barres marchandes communes.

§ 4. *Qualité et usages des marques communes du Pays de Galles.*

On sait déjà, par ce qui a été dit au chapitre III de la première section, quels sont les défauts de ces fers. L'examen sommaire des barres de l'une et l'autre sorte suffit pour les reconnaître.

Malgré les couvertes en fer mazé, malgré la rapidité du laminage, les arêtes de ces barres sont fréquemment criquées et rugueuses.

Cassées à froid, elles accusent un grain à facettes larges et brillantes : sur quelques points, un nerf court et sombre ; tous les signes, en un mot, d'une faible ténacité à froid.

Sans revenir sur les défauts de soudure et de propreté que ces fers présentent, on voit, en outre, qu'ils n'ont de résistance ni à froid ni à chaud. Aussi ne les applique-t-on qu'aux usages où les barres s'emploient sans ouvraison ultérieure, et ne sont soumises qu'à de faibles efforts. Exemples : *grilles de jardins*, *constructions communes*, *barreaux de fourneaux*, etc.

L'insuffisance des fers gallois est tellement reconnue dans le South-Wales même que pour tous usages en dehors de ceux dont il vient d'être parlé, les consommateurs du pays font venir d'Écosse et du Staffordshire des marques « *bon ordinaire* » en retour des rails communs qu'on y expédie.

CHAPITRE IV.

FABRICATION DES EXTRAS SUR DIMENSIONS.

Les extras sur dimensions comprennent deux séries : l'une supérieure, l'autre inférieure à la première classe. Sans multiplier les détails, nous allons montrer quelles sont les principales raisons qui mettent hors classe ces variétés de barres.

§ 1. *Barres extras en dessus de la 1re classe.*

Le choix des fers bruts reste généralement le même pour ces dimensions supérieures que pour celles de la première classe, de qualité correspondante. La proportion de *fer ballé* dans les paquets, est d'un quart à un tiers au plus pour la qualité inférieure et de 40 à 50 p. 100 pour les fers les plus estimés.

Les difficultés du réchauffage, la faible production des laminoirs, les déchets élevés en rebuts et rognures surtout, voilà des motifs déjà importants de surélévation des prix de revient. Mais, par dessus tout, la faiblesse des commandes en gros échantillons oblige les forges à des frais considérables de matériel, rarement bien utilisé; de là des frais généraux toujours fort élevés.

Nous nous bornerons à rapporter l'exemple suivant, que nous avons relevé dans l'une des forges du Staffordshire les plus réputées pour la qualité de ses produits.

On y fabriquait, le jour de notre visite, des ronds de 4 pouces de diamètre ($0^m,10$) et de 16 pieds (5 mètres) de long.

Le paquet avait une section de 10 pouces ($0^m,25$) de large sur 11 pouces 1/2 ($0^m,287$) de haut et une longueur de 6 pieds ($1^m,80$).

A la base et à la tête du paquet étaient trois assises de largets en riblons, puddlés, martelés et laminés. Le corps se composait de cinq assises de fer puddlé. Les proportions de fer puddlé et de fer ballé étaient donc, vu l'épaisseur un peu plus grande des barres puddlées, à très-peu près égales (1).

(1) Ce mode de construction des paquets pour gros ronds paraît supérieur à celui qu'on a appliqué quelquefois dans d'autres forges anglaises et qui consiste à assembler des barres à section cunéiforme qui composent une trousse à section circulaire. Il semble à peu près impossible de transmettre la pression des laminoirs jusqu'au centre de ces trousses. M. Truran dit avoir constaté, lors de la rup-

Trois fours de réchauffage, appliqués à cette fabrication, recevaient chacun un seul paquet pareil; la chaude y durait deux heures et demie à trois heures.

Un train à trois cages desservait ces trois fourneaux. La première cage, à mouvement indépendant, contenait une paire de cylindres à cannelures rectangulaires non emboîtantes pour le soudage; c'était une sorte de laminoir-blooming, à mouvement alternatif, comme nous en verrons dans les forges à rails.

Les deux autres cages, montées sur un même bâti, avaient: la première, 2 mètres environ de longueur, avec cannelures rectangulaires et quarrées (dégrossisseuses); la seconde, 1m,80 de longueur, avec cannelures ogives et rondes.

Une machine de 35 à 40 chevaux donnait le mouvement à ces trois cages; mais on la regardait comme beaucoup trop faible.

Le paquet, amené au blanc soudant, était passé à plat à la première cannelure du blooming; deux fois de champ à la seconde; à plat à la troisième. A la vitesse de 12 ou 15 tours, on renversait à chaque passage le sens du mouvement, sans chocs violents.

La première cage des finisseurs donnait 4 passages : un à plat, un de champ et deux autres à plat. Enfin la barre était finie sur la deuxième cage, par trois cannelures ogives et trois autres rondes.

Scies mues directement par la vapeur. — Ce laminage d'une seule chaude ne durait pas moins de 6 à 8 minutes. La barre encore rouge était dressée au marteau à main et immédiatement affranchie des deux bouts. Ce dernier travail était fait par deux petites scies, mues par l'action directe de la vapeur. A cet effet, l'axe même sur lequel sont

---

ture de gros ronds ainsi préparés pour tiges de piston, une séparation complète entre la partie centrale et un anneau superficiel qui ne s'y était pas soudé au laminoir.

fixées les scies porte, à l'une de ses extrémités, une roue à réaction recevant la vapeur à son centre et la laissant échapper à sa circonférence. Cet appareil peut tourner, et avec lui les deux scies, à une vitesse de 2 à 3.000 tours par minute. Dans ces conditions, l'affranchissement d'une barre comme celle dont il s'agit dure 2 minutes environ, y compris le temps des manœuvres entre le laminoir et les bancs de dressage et sciage.

Ces scies, directement mues par la vapeur, sont très-simples et peu coûteuses : elles conviennent particulièrement à des fabrications comme celle qui nous occupe, où le travail est peu actif et presque toujours intermittent.

Produits et consommations. — La durée totale du travail d'un paquet était de 3 heures environ, toutes manipulations comprises. Le paquet brut pesant à peu près 800 kil. (17 à 1800 liv.), les trois fourneaux passaient donc par 12 heures 9 à 10 tonnes brutes et produisaient 6 1/2 à 7 tonnes de barres finies, avec un déchet total de 31 à 32 p. 100, dont 20 ou 21 de rognures.

Les trois fours étaient desservis par un réchauffeur et deux aides; la consommation totale de chacun d'eux était de 30 à 31 quintaux de grosse houille par 12 heures : cela correspond à peu près à 60 ou 65 p. 100 de barres finies.

Le seul transport de chaque paquet du four au laminoir occupait 10 à 12 hommes et le laminage 20 ou 22, non compris les machinistes et chauffeurs.

A la scie, c'étaient les dresseurs mêmes qui faisaient le service. Le sortage et le laminage, y compris les manutentions accessoires, ne durant pour chaque paquet que dix à quinze minutes, le travail effectif de tout ce personnel n'était donc que de trois heures sur douze. Pour l'occuper continuellement, il eût fallu des commandes suffisantes pour huit ou dix fours à réchauffer. Au contraire, avec une production restreinte de 6 1/2 à 7 tonnes par jour, le personnel, composé d'éléments assez hétérogènes, manœuvres

et ouvriers spéciaux des mills à fers marchands d'ateliers voisins, servait alternativement sur un point et sur un autre. De là des pertes de temps et une aggravation des frais de main-d'œuvre.

Ces difficultés sont d'autant plus sensibles dans les forges à fers marchands du Staffordshire qu'elles ne sont point outillées généralement pour produire les gros fers profilés (rails, gros fers de construction, etc.). Dans les usines par contre, qui se livrent à ces fabrications spéciales, les commandes de l'une ou l'autre sorte entretiennent une certaine continuité de travail, moyennant quelques changements des cylindres finisseurs.

Il résulte de ces différences que l'écart de prix entre les barres extras dont nous venons de parler et celles de la première classe, n'est pas le même dans toutes les forges. Il est certain aussi, d'après cela, que dans les unes comme dans les autres cet écart se réduira au fur et à mesure d'une plus grande consommation de cette sorte de produits.

§ 2. *Barres extras de dimensions inférieures à celles de la 1re classe; extras comprenant les bandes, feuillards et cercles* (hoops and strips).

Choix de matières premières pour petits fers. — Nous plaçons dans le même chapitre ce que nous avons à dire des petits fers ronds, quarrés ou plats, et des cercles, bandes ou rubans, parce que des procédés à peu près identiques s'appliquent à ces deux séries de produits. En outre, si les petits fers exigent du fer brut provenant de bonnes fontes, grises ou mazées, et un cinglage soigné, c'est encore bien plus vrai des cercles et rubans. Aussi ne rencontre-t-on ces deux fabrications que dans les forges d'Angleterre qui recherchent, au haut fourneau comme au four à puddler, la qualité plus que le bon marché. Il est donc vrai de dire, du moins en termes généraux : le choix des matières premières est le premier et principal motif de l'écart de

prix que présentent les petits fers comparés à ceux de la première classe. Les chances plus grandes de rebuts, la faiblesse de la production, les soins particuliers du soudage et du corroyage, voilà les autres causes de surélévation du prix de revient. On remarquera que ces causes se classent ici d'une façon inverse de celle indiquée précédemment pour les gros fers (§ 1).

Classification des petits fers. — Les barres rondes ou quarrées de petites dimensions sont soumises à des écarts de prix croissant par chaque seizième de pouce de réduction du côté ou du diamètre, à partir de 1/2 pouce jusqu'à 1/4 de pouce (12mm 1/2 à 6mm 1/4). La plupart des forges du Staffordshire arrêtent leur classification à cette limite inférieure. On voit bien sur quelques prix courants des dimensions de 6 à 4mm, mais c'est par exception: cette partie de la classification est toujours plus nominale que réelle. Ces laminés de petit équarrissage font l'objet plus spécial de la fabrication des forges où se préparent les verges de *tréfilerie*, *clouterie*, etc.; nous en parlerons dans la quatrième partie de notre mémoire.

Quant aux plats, les limites inférieures sont 1/2 pouce de largeur sur 1/8 d'épaisseur (c'est-à-dire une section de 12 millim. 1/2 sur 3mm,125).

Les barres plates passent aux cercles quand, pour des largeurs de 1/12 pouce à 6, l'épaisseur tombe au-dessous de 1/12 pouce (à peu près 2 millim.). Les écarts de prix varient d'ailleurs, comme le montreront les tableaux de la section économique, à la fois avec les largeurs et avec les épaisseurs.

I. *Procédés généraux de fabrication. Divers modes de paquetage.* — Les modes de fabrication des diverses vairétés de petits fers se distinguent selon les dimensions et les qualités qu'on veut obtenir.

1° *Pour les plus gros petits fers*, on fait des paquets de deux, trois ou quatre barres puddlées, de fonte grise ou

mazée, et de lopins préalablement bien cinglés au marteau. Les paquets amenés au blanc sont, d'une seule chaude, soudés dans deux ou trois premières cannelures quarrées ou rectangulaires non emboîtantes, puis dégrossis et finis par des cannelures de formes et de dimensions voulues.

Assez souvent les paquets de *trois ou quatre barres* comprennent deux couvertes (largets de dessus et de dessous) en fer de loupe *doublée* au cinglage.

En outre, lorsque les deux ou trois premières cannelures rectangulaires ont soudé le paquet sous forme d'un barreau d'étirage, on le divise en deux billettes de $0^m,20$ à $0^m,30$ de longueur, à l'aide d'une cisaille accolée à la cage soudante. Les deux billettes sont finies ensuite de la même chaude.

Cette particularité du travail pour petits fers, nous la retrouverons dans quelques fabrications spéciales, dans les tôleries notamment, elle évite une chaude nouvelle, c'est-à-dire qu'elle économise déjà du temps et du combustible. Le paquet reçoit, en outre, un étirage plus considérable et les rognures sont proportionnellement réduites.

2° *Pour les dimensions inférieures de petits fers*, presque partout on prépare séparément les billettes : pour cela on fait un travail en tout semblable à celui que nous avons précédemment décrit pour barres marchandes quarrées ou rondes (chap. I, § 7). Une chaude spéciale de laminage est ensuite donnée aux barreaux cisaillés.

Quelques forges du Staffordshire et du Cleveland font cependant encore ces barreaux ou billettes directement au train dégrossisseur. Au lieu de laminer les lopins en fer brut pour larget de paquetage, on les transforme en barreaux quarrés de 1 pouce à 1 pouce 1/2 de côté. Il va sans dire qu'en pareil cas les lopins sont soigneusement cinglés; ils ont subi les doublages et souvent même le demi-ballage dont il a été question au sujet du puddlage dans le Staffordshire.

3° *Qualités supérieures.* — Les procédés généraux de fabrication dont il vient d'être parlé s'appliquent *aux qualités ordinaires*. Pour *les qualités supérieures* la préparation des billettes précède toujours l'étirage en barres finies. De plus les paquets dont on les obtient sont composés en partie ou en totalité de *fer ballé* ou de *fer de riblons* (best et B. best).

II. *Principaux résultats du travail pour petits fers.* — 1° *Production par douze heures* d'un atelier comprenant : deux fours à réchauffer et un train de petit mill à trois *cages-trios*.

a). 6 à 7 tonnes de 2.400 liv. en ronds de 5/16 à 6/16 de pouce, obtenus par l'étirage de billettes quarrées de 1 pouce 1/2 de côté et de 15 pouces ($0^m,375$) de longueur. Les billettes réchauffées au rouge étaient passées pour ronds dans dix cannelures ovales d'un premier trio et dans deux finisseuses rondes. Le personnel de cet atelier comprenait : un réchauffeur pour deux fours ; deux lamineurs (maître et aide) ; deux rattrappeurs ; 3 ou 4 gamins démêleurs et traîneurs.

b). 3 t. 1/2 à 4 tonnes en ronds de 4/16 à 5/16,
c). 3 tonnes à 3 t. 1/2 en quarrés de 1/4 de pouce,
avec même matériel et même personnel : travail en billettes.

Ces trois premiers exemples ont été recueillis en Écosse et dans le Staffordshire. Voici maintenant quelques chiffres relatifs à la préparation de cercles de petites dimensions. Ils ont été pris à *Thudoë*, la seule forge importante du Durham qui fabrique couramment ces petits échantillons. Elle les prépare d'ailleurs avec les fontes de minerais spathiques dont il a été parlé précédemment : c'est une preuve de plus de la nécessité des fers de première qualité pour ces petites dimensions.

Les cercles avaient 3/4 de pouce de largeur et une épaisseur correspondante au n° 22 de la jauge de Birmingham, c'est-à-dire environ 7/10 de millimètre.

Par une première opération on préparait des billettes quarrées de 0m,015 de côté et de 0m,80 de longueur. Elles étaient étirées et finies d'une deuxième chaude, ainsi qu'il suit :

Un seul réverbère, à deux portes, à chauffe soufflée par-dessous la grille, alimentée de houille menue, fournissait d'une façon continue, au petit mill, desservi par un maître lamineur et neuf jeunes garçons (lamineurs, rattrapeurs, traîneurs, dresseurs, etc.). A chaque billette sortie du four par une porte, il en entrait une froide par l'autre porte : le travail était donc à peu près continu et l'on passait six billettes par minute.

Par douze heures, avec ce personnel et ce matériel, on passait environ 2t,75 de billettes.

2° *Main-d'œuvre de réchauffage et laminage.* — Les variations du coût de la main-d'œuvre suivent celles de la production journalière, ou bien encore celles des dimensions. Voici sur ce sujet des chiffres extraits des livres d'une même forge :

				Réchauffage.		Laminage.		
	po.		po.	sh.	d.	sh.	d.	
Barres quarrées ou rondes de	1/2	à	3/4	2	1	3	0	(*)
Id. . . . . de	3/4	à	7/8	2	0	3	0	
Id. . . . . de	3/8	à	7/16	3	2	6	0	
Id. . . . . de	5/16			4	2	8	9	
Id. . . . . de	4/16			5	1	11	3	
Id. . . . . de	3/16			8	8	18	6	

(*) Par 2.400 liv. de barres finies.

Les autres éléments de la main-d'œuvre totale ne diffèrent pas notablement pour les petits fers de ceux donnés précédemment pour la première classe. Ainsi le paquetage était payé 8 d. 1/2 en moyenne par tonne de 2.400 liv. de petits fers au lieu de 8 d. 1/4 pour les barres de première classe.

3° *Consommation de houille et déchet.* — Dans le cas de laminage en paquets et d'une seule chaude, la consommation de houille oscille entre 11 et 12 quintaux par 20 quintaux de barres finies.

Dans les cas de fabrication spéciale des billettes et d'une seconde chaude de finissage, on compte poids de houille pour poids de fer fini : cela ferait une consommation spéciale de 8 à 9 quintaux pour le seul réchauffage des billettes.

Les déchets varient beaucoup avec les échantillons fabriqués et principalement à cause des rebuts qui sont d'autant plus grands que les dimensions sont moindres. Pour un assortiment de dimensions comprises entre 1/4 et 1/2 pouce, en ronds, quarrés et plats correspondants, on compte généralement sur 20 à 25 p. 100, selon qu'on travaille d'une seule chaude ou en billettes. Sur ce déchet total, il y aurait de 10 à 15 p. 100 de rebuts et rognures. Ces chiffres sont plutôt bas qu'élevés.

(*La suite à la prochaine livraison.*)

MODE DE FUSION

DE L'ACIER DANS UN FOUR A RÉVERBÈRE.

PROCÉDÉ DE M. A. SUDRE.

Rapport succinct sur les essais faits aux forges de Montataire par ordre et aux frais de S. M. l'Empereur.

PRÉSENTÉ A SA MAJESTÉ PAR MM.

TREUILLE DE BEAULIEU, colonel d'artillerie,

SAINTE-CLAIRE DEVILLE, maître de conférences à l'École normale,

ET

CARON, capitaine d'artillerie.

Il y a bien longtemps qu'il a été essayé pour la première fois de fondre de l'acier dans un four à réverbère. Il est probable même que c'est par là que l'on a débuté, et les avantages de ce mode de fusion sont d'une telle évidence qu'il n'est peut-être pas un seul fabricant d'acier qui n'ait fait au moins un essai dans cette voie. Tous ont échoué jusqu'à ce jour, en amenant une destruction presque immédiate du four.

M. A. Sudre comprit que cette destruction rapide tenait à ce que la flamme, en contact direct avec l'acier, formait de l'oxyde de fer qui, se combinant avec la silice des briques dont le four est formé, produisait un silicate de fer d'une extrême fusibilité, et qu'en un mot le four se fondait en même temps que l'acier.

Pour lui le problème fut donc de préserver l'acier du

contact de l'air par l'interposition d'un laitier composé de manière à ne pas altérer ce métal, qui perd à l'instant ses précieuses qualités par l'adjonction la plus minime de corps étrangers, tels que le soufre, l'arsenic, le phosphore, le silicium, etc., etc. Il pensa qu'il fallait en même temps, et c'est là l'écueil contre lequel tous les efforts venaient se briser, que le laitier n'attaquât pas les briques du four, en d'autres termes il s'agissait de trouver un laitier qui respectât l'acier en même temps que les parois du four. Tel est le problème qu'a résolu M. A. Sudre en employant, comme laitier, du verre à bouteille ou des scories de haut fourneau au bois.

Il restait à constater si dans la pratique les résultats seraient d'accord avec la théorie, et quels avantages ce mode de fusion était susceptible d'apporter dans la fabrication de l'acier.

Des essais ont été faits dans ce but aux forges de Montataire, aux frais de S. M. l'Empereur. Nous en avons suivi toutes les phases avec le plus vif intérêt; leurs résultats sont consignés avec beaucoup de fidélité dans un mémoire très-circonstancié de M. Sudre; ils constatent:

1° Que la fusion de l'acier, sous ce laitier, s'opérait facilement et rapidement sans lui faire perdre aucune de ses qualités;

2° Qu'avec ce mode de fusion on arriverait sans peine à pouvoir fondre à la fois 2.000 kil. d'acier dans le même four;

3° Que dans l'état actuel des choses, et malgré certaines imperfections que présentait le four d'essai, il y aurait une notable économie, tant par la suppression des creusets que par la diminution du combustible employé par rapport à la quantité d'acier mis en fusion;

4° Que les fours construits en briques réfractaires ne résistent que médiocrement à cause de la multitude des joints, et qu'il y aurait avantage à faire les soles et les voûtes,

soit d'une seule pièce, soit d'un petit nombre de morceaux s'assemblant à rainure comme les soles des fours à cuivre.

En résumé, il semble bien démontré que le procédé de M. Sudre est une amélioration sérieuse apportée à la fabrication de l'acier fondu, qu'il est susceptible d'être avantageusement utilisé par l'industrie, à laquelle il ne restera plus que quelques expériences à faire sur la nature des matériaux les plus convenables à employer dans la construction du four et sur les formes les plus heureuses pour utiliser toute la chaleur du foyer.

Nous sommes convaincus que l'industrie aurait tout intérêt à entreprendre l'essai du nouveau procédé comparativement à l'ancien, et nous ne doutons pas que nos aciéries ne s'empressent de l'adopter, dès qu'elles connaîtront les résultats heureux des premières épreuves faites sous le haut patronage de l'Empereur, épreuves qui témoignent une fois de plus du vif intérêt qu'inspire à Sa Majesté tout ce qui peut contribuer aux progrès de l'industrie française.

Paris, le 1er mai 1861.

MÉMOIRE

SUR LES ESSAIS DU PROCÉDÉ DE FUSION DES ACIERS AU FOUR A RÉVERBÈRE EXÉCUTÉS AUX FORGES DE MONTATAIRE, DU MOIS D'OCTOBRE 1860 AU MOIS DE MARS 1861 (1).

Par M. SUDRE.

S. M. l'Empereur ayant daigné ordonner que des essais fussent faits à ses frais pour constater la valeur du nouveau procédé de fusion des aciers par grandes masses au four à réverbère, sans emploi de creusets, inventé par M. Alfred Sudre, la première question à résoudre fut le choix de l'usine dans laquelle ces essais seraient exécutés. L'application de ce procédé ne pouvait, en effet, être tentée économiquement et avec promptitude que dans un établissement métallurgique possédant de puissantes cheminées d'appel, des ventilateurs pourvus de moteurs suffisamment énergiques, le matériel et le personnel nécessaires pour la construction et l'armature d'un four à réverbère, enfin un atelier de fonderie disposé au moins pour la fonte de fer.

La société anonyme des forges de Montataire, près Creil (Oise), ayant mis gracieusement ses usines à la disposition de Sa Majesté pour ces essais, le choix s'arrêta sur cette forge, que la possession d'une fonderie complète, d'un atelier d'ajustage et sa proximité de Paris plaçaient dans les conditions les plus favorables pour l'exécution et la surveillance des opérations.

(1) Les procédés dont il s'agit sont l'objet de brevets en France et à l'étranger, et ne peuvent être employés sans le consentement de l'inventeur.

On avait d'abord espéré trouver à la forge de Montataire un four à fondre la fonte de fer qui pourrait être appliqué, avec quelques modifications, à la fusion de l'acier. Mais une visite que nous fîmes à l'usine dans le courant d'octobre 1860 nous convainquit de l'impossibilité de se servir du matériel existant. Nous reconnûmes, de concert avec MM. les directeurs et ingénieurs de la forge, qu'il serait à la fois plus avantageux et plus économique de construire un four à nouveau, dans de bonnes conditions, sauf à restituer à la Compagnie, à la fin des opérations, les armatures et ferrements, qui conserveraient la majeure partie de leur valeur.

Comme la société de Montataire avait fait récemment des essais de fusion de l'acier au creuset, on comptait trouver dans l'établissement un four à creusets, qui servirait à essayer préalablement la fusibilité des aciers et des laitiers, l'action de ces derniers tant sur les aciers que sur les matériaux réfractaires destinés à former la chemise du grand four de fusion. Malheureusement la fonderie d'essai venait d'être démolie ; il n'en restait que la cheminée, objet, il est vrai, le plus essentiel et le plus coûteux, quelques centaines de creusets, et des lingotières en fonte de 20 kil. et 40 kil. Cependant, il était indispensable de faire des essais préalables sur les matières à employer, et d'obtenir des lingots d'acier fondu au creuset qui pussent servir de termes de comparaison avec les aciers similaires fondus au four à réverbère, pour s'assurer si ce dernier mode de fusion n'en altérait pas la qualité. On décida donc la construction, au pied de la cheminée existante, de deux fours de fusion au coke, de la forme ordinaire, pouvant contenir chacun deux creusets. De ces fours, l'un devait servir à l'échauffement préliminaire des creusets, pendant que l'autre serait en marche. La rigueur de la saison obligea de couvrir ces deux fours d'une petite construction.

Pendant que ce travail s'exécutait, on détermina l'em-

placement du four à réverbère pour la fusion de l'acier, et l'on en commença la construction. Ce four fut placé dans la halle de la fonderie, à portée d'une forte grue dont la volée pouvait aboutir au trou de coulée, et en face d'une grande cheminée de 26 mètres de hauteur, desservant six fours à puddler et à réchauffer, dont trois étaient en chômage. La chauffe du four se trouvait, en outre, placée sous le conduit d'un puissant ventilateur, ce qui donnait toutes facilités pour l'établissement d'un porte-vent vertical, amenant l'air forcé dans le cendrier.

La Pl. IV, *fig.* 9, 10 et 11, représente en plan, coupe et élévation le four dont j'avais primitivement proposé la construction. Le four proprement dit a les dimensions suivantes :

	m.
Grille. — Longueur dans le sens de l'axe du four	0,90
Autel plein. — Épaisseur à la crête.	0 15
Sole. — Longueur de la crête du grand autel à celle du petit autel.	1,85
Largeur égale pour la grille, le grand autel et la sole jusqu'à la naissance des rétrécissements.	1,50
Largeur de la sole au rampant, réduite à.	0,60
Profondeurs de la sole au-dessous du plan horizontal passant par ses bords supérieurs, savoir :	
Au trou de coulée.	0,18
Au petit autel.	0,12
En face du trou de coulée.	0,14
Hauteur des deux autels au-dessus des bords de la sole. .	0,05
Hauteur de la voûte au-dessus du grand autel.	0,25
— — du petit autel.	0,15
Surface de la grille..	1,17
Surface de la sole.	1,85
Section du rampant.	0,09

Au delà du rampant devait se trouver un plan incliné aboutissant à un canal ou chio pour l'écoulement des scories qui pourraient passer par-dessus le petit autel. Sur une sole élevée de $0^{m},20$ au-dessus du canal de chio devait être construite une caisse en briques réfractaires de $1^{m},25$

de profondeur sur $0^m,65$ de largeur et $0^m,40$ de hauteur, s'ouvrant sur la paroi latérale du prolongement du four, où elle serait fermée par une porte. Cette caisse, d'une contenance d'environ trois hectolitres, déduction faite de l'emboîtement de la porte, était destinée à échauffer les bidons d'acier qui y seraient placés quelques heures avant d'être chargés sur la sole de fusion. Sa capacité était suffisante pour contenir 800 kil. d'acier en bidons avec le poussier de charbon nécessaire pour les garantir de toute oxydation. Au delà de cette caisse à réchauffer ou moufle, la flamme descendait verticalement pour se jeter dans un canal horizontal aboutissant à la cheminée. On comptait placer dans ce canal un registre vertical en terre réfractaire, ou mieux encore en fonte à courant d'eau, pour régler convenablement le tirage.

La sole devait être faite d'une seule pièce, ou d'un petit nombre de voussoirs, pour éviter le soulèvement, et autant que possible les infiltrations de métal.

Le four devait avoir trois portes de travail de $0^m,25$ de largeur sur $0^m,20$ de hauteur, placées, l'une au-dessus du trou de coulée, l'autre du même côté, à la naissance du rétrécissement de la sole, la troisième du côté opposé, en face de l'intervalle des deux précédentes. On comptait fermer ces portes avec des obturateurs en terre réfractaire, frettés en fer et munis d'une poignée, dont on attendait une clôture plus avantageuse que des portes ordinaires à châssis et coulisse verticale des fours à puddler et à réchauffer le fer. L'emplacement de ces portes est représenté en plan sur la *fig.* 10 de la Pl. IV.

Le trou de coulée exigeait une disposition particulière pour ne pas présenter trop de longueur, ce qui eût rendu la percée et le bouchage difficiles. En conséquence on adopta une forme de plaque de travail à embrasure, représentée en élévation *fig.* 3, en coupe verticale *fig.* 4 et 11, en coupe horizontale *fig.* 13. Le canal de coulée se trouvait ainsi réduit

à une longueur de $0^m,20$. Il était incliné de 30° environ à l'horizon, et débouchait au fond de la sole, où il offrait une section horizontale-ellipsoïde, sans entamer la paroi verticale. Cette disposition avait pour but d'éviter qu'à la fin de la coulée le laitier ne vînt en même temps que l'acier, résultat qui n'aurait pas manqué de se produire si le trou de coulée avait été, en tout ou en partie, ouvert dans la paroi verticale de la sole. L'acier et le laitier auraient en effet coulé simultanément en nappes superposées, par l'arcade ainsi formée. On se proposait de boucher le trou de coulée avec de la brasque dure, sur laquelle serait placé un obturateur tronc-conique en terre réfractaire cuite, pourvu d'un anneau en fer destiné à en faciliter l'extraction. Par-dessus cet obturateur devait être bourré du sable ordinaire de fonderie. Enfin, pour empêcher le bouchage de céder sous la pression de l'acier fondu, comme cela était arrivé dans des essais faits au chemin du Nord, une plaque de garde représentée *fig.* 12 devait être fortement serrée sur le bouchage au moyen de coins maintenus par une barre de fer mobile fixée à des crampons rivés dans la plaque principale de coulée.

L'embrasure de cette plaque, au-dessous du trou de coulée, était destinée à recevoir la poche où l'acier devait tomber au moment de la percée. Une fosse devait être pratiquée dans le sol au droit de cette embrasure, pour contenir la poche qui, sans cela, eût offert une hauteur trop considérable. Toutes ces dispositions ont été réalisées avec plein succès, sauf quelques modifications qui seront indiquées plus loin.

Telles étaient les dimensions et dispositions du four que nous nous proposions de faire construire. Nous ne nous dissimulions pas que la sole avait une surface très-réduite, relativement à celle de la grille; mais nous préférions pécher par excès plutôt que par défaut de température; d'ailleurs, la sole adoptée présentant une surface de $1^m,85$,

pouvait encore recevoir 800 kil. d'acier, et même 1.000 kil., en opérant des chargements successifs.

Lorsque ce plan eut été examiné et discuté par MM. les directeurs de la forge de Montataire, quelques difficultés s'élevèrent sur son exécution, difficultés résultant, non des dispositions intrinsèques du plan, mais de l'absence de matériaux convenables pour les réaliser. L'usine ne possédait que des briques réfractaires de $0^m,24$ de longueur sur $0^m,12$ de largeur et $0^m,6$ d'épaisseur, fabriquées dans ses ateliers en terre d'Andenne, près Liége, mélangée de poudingues quartzeux de Belgique grossièrement pulvérisés. Il n'existait pas de grands voussoirs pour faire la sole, ni de briques de $0^m,80$ de longueur pour former la couverture de la caisse à réchauffer l'acier. La fabrication de ces pièces eût été très-facile, mais elle aurait exigé beaucoup de temps pour la dessiccation et la cuisson. Il en eût été de même, à plus forte raison, de la construction d'une sole d'une seule pièce. Cette opération aurait pu se faire à l'usine, ou mieux encore dans un établissement spécial; mais il aurait fallu deux ou trois mois pour sécher une pareille masse de terre et quinze jours pour la cuire. On ne pouvait subir de pareils retards. Nous crûmes qu'il valait mieux employer les matériaux dont nous pouvions disposer et résoudre rapidement la question de fusion, sauf à se pourvoir plus tard de matériaux fabriqués spécialement pour la construction de nos fours. En conséquence, nous résolûmes :

1° De remplacer la sole d'une seule pièce ou d'un petit nombre de pièces en terre réfractaire préalablement cuite, par une sole battue sur place et formée d'un mélange de terre réfractaire crue et de terre cuite pulvérisée grossièrement;

2° De remplacer la caisse à chauffer l'acier par deux bouts de cornues à gaz, d'une contenance équivalente, que l'on pouvait se procurer aisément chez les fabricants de ces appareils.

Pendant que l'on construisait les fondations du four de fusion, diverses expériences furent faites pour reconnaître le mélange de terres le mieux approprié au battage de la sole. Le problème à résoudre consistait à obtenir une matière ayant aussi peu de retrait que possible, et ne se fendant pas à la chaleur. On fit battre dans des moules en bois des gâteaux quadrangulaires de $0^m,50$ de longueur, $0^m,30$ de largeur et $0^m,10$ d'épaisseur, formés des compositions suivantes :

N° 1.	1/3	Terre crue d'Andennes.	2/3	Même terre cuite grossièrement pulvérisée,
N° 2.	1/4	—	3/4	
N° 3.	1/5	—	4/5	
N° 4.	1/6	—	5/6	

le tout agglutiné avec la moindre quantité d'eau possible. Ces gâteaux, ou grosses briques, furent séchés à l'air, puis à l'étuve, et enfin cuits pendant huit heures dans un four à réchauffer le fer. Le n° 1 n'avait pris aucun retrait dans le sens de la longueur ni de la largeur, mais avait perdu quelques millimètres de son épaisseur. Le n° 2 n'avait rien perdu sur aucune de ses dimensions. Il en était de même des n°s 3 et 4. Le dernier paraissait même avoir un peu gagné en longueur et largeur. Mais ces compositions présentaient, surtout sur les angles, une assez grande friabilité. Le même défaut existait, à un moindre degré, dans la brique n° 2. Néanmoins, comme la sole battue sur place ne devait pas présenter d'angles vifs, la composition n° 2 (1/4 terre crue, 3/4 ciment en grains) fut adoptée comme remplissant le mieux les conditions désirées : absence de retrait et de fentes réunie à une suffisante solidité. En conséquence, on fit préparer pour le battage de la sole une masse suffisante de ce mélange. Le ciment de terre cuite fut passé dans deux cribles, l'un à mailles de $0^m,001$ de côté, l'autre à mailles de $0^m,003$ à $0^m,004$. La poussière et les grosses grenailles provenant de ce double criblage furent également rejetées de manière à ne conserver que des grenailles de $0^m,001$ à

$0^m,004$. Ces grenailles moyennes, mélangées avec le tiers de leur volume de terre crue, furent soigneusement malaxées et marchées, avec une faible quantité d'eau. La matière préparée pour le battage contenait :

Terre d'Andennes (dite Mauzet) cuite, en grenailles .	69
Même terre crue	23
Eau	8
Total	100

La plaque de coulée du four avait été fondue en fonte dans le courant de novembre, et les armatures du four préparées. Les fondations et le massif étant construits jusqu'à la hauteur des portes et l'encaissement de la sole établi en briques réfractaires de première qualité, on procéda au battage. Pour laisser à la sole la liberté de se rétracter sous l'influence de la température, on garnit le fond de l'encaissement d'une mince couche de sable sec, qui fut recouverte de papier-carton. Des feuilles semblables furent appliquées contre les parois latérales de l'encaissement. Elles étaient destinées à empêcher toute adhérence entre celles-ci et la sole, dont le battage fut exécuté avec tout le soin possible. Chaque couche de terre, d'abord foulée par un marcheur habile, fut ensuite battue avec des pilettes de fer, puis couverte de raies avec des couteaux, pour établir l'adhérence avec la couche suivante. Les bords de la sole furent arasés au niveau de l'encaissement, dont l'horizontalité avait été réglée au niveau d'eau. Les pentes du fond furent déterminées au moyen de gabarits en bois. On réduisit la profondeur au trou de coulée à $0^m,16$, au lieu de $0^m,18$ portés sur le plan primitif, les profondeurs au bout de la sole et en face du trou de coulée restant de $0^m,12$ et $0^m,14$. Le trou de coulée fut formé d'un canal en terre réfractaire préalablement cuite, engagé dans la masse de la sole pendant le battage. La sole ainsi terminée, on éleva les parois latérales du four, en ayant soin de ne faire re-

poser les briques que sur l'encaissement, et non sur les bords de la sole. Enfin, on construisit la voûte en briques de 0m,24 de hauteur, posées de bout, de la manière ordinaire. Les dimensions intérieures du four furent ainsi réglées :

	m.
Hauteur du grand autel au-dessus du bord de la sole (un rang de briques)	0,06
Hauteur du petit autel (1/2 épaisseur de briques) au-dessus du bord de la sole	0,03
Hauteur de la voûte au-dessus de la crête du grand autel	0,25
Hauteur de la voûte au-dessus du bord de la sole, depuis l'aplomb du trou de coulée jusqu'aux abords du rampant	0,20
Hauteur de la voûte au-dessus du bord de la sole, au rampant	0,155
Largeur du rampant	0,620
Hauteur —	0,125
Section du rampant à la sortie de flamme.	0,0775

Les autres dimensions étaient les mêmes que celles qui ont été données ci-dessus. Les modifications consistent dans la surélévation du grand autel à 0m,06 au-dessus du bord de la sole, au lieu de 0m,05, l'abaissement du petit autel à 0m,03 au-dessus du même niveau, au lieu de 0m,06 ; l'abaissement de la voûte au rampant à 0m,155 au lieu de 0m,20 ; la réduction de la section du rampant à 7 décimètres quarrés 75 au lieu de 9 décimètres. Cette dernière réduction, empruntée aux fours à réchauffer à vent forcé existant à l'usine, avait pour objet de mieux conserver la flamme et la température dans le laboratoire du four.

Après l'entrée du rampant, la voûte plongeait jusqu'à l'aplomb du chio et se relevait pour couvrir les deux cornues, lesquelles étaient garnies extérieurement de briques réfractaires posées à plat. La hauteur de la voûte au-dessus de ces briques était de 0m,15. Les cornues étaient placées sur trois rangées de briques, laissant entre leurs intervalles

et les parois verticales quatre carneaux par où la flamme pouvait passer pour échauffer le fond de ces cornues. Dans la suite on fut obligé de boucher ces carneaux, parce que le fond des cornues, faites en matériaux trop peu réfractaires, entrait en fusion et se perçait sous l'action de la flamme. L'extrémité de la voûte se raccordait par une courbure douce avec un rampant vertical tombant dans le canal aboutissant à la cheminée. La longueur du four à cornues n'avait permis de laisser que 0m,60 entre son extrémité et la paroi de la cheminée. Cette proximité, jointe à l'impossibilité de modifier le conduit souterrain qui desservait plusieurs autres fours, n'avait pas permis de placer dans ce conduit, comme nous l'aurions désiré, un registre vertical destiné à régler le tirage de notre four. Pour y suppléer autant que possible, on pratiqua dans le rampant vertical au bout du four une ouverture horizontale très-étroite. un peu au-dessous de la plate-forme des cornues, ouverture dans laquelle pouvait glisser une forte tôle formant registre. Mais cette tôle, se brûlant très-vite, ne remplissait qu'imparfaitement son objet.

Le conduit souterrain aboutissait à la grande cheminée quarrée dont nous avons parlé. Cette cheminée a une hauteur de 26 mètres, une section intérieure quarrée de 1m,50 de côté à la base et de 1m,10 au sommet. Elle est destinée à desservir six fours, dont trois seulement marchaient.

Les armatures du four, déjà placées avant la construction de la voûte, furent complétées par la pose des portes en fonte du cendrier, destinées à le fermer pour l'emploi du vent forcé, et par l'ajustage du tuyau porte-vent muni de son registre. Ce tuyau, d'un diamètre de 0m,25, amenait le vent d'un ventilateur dont les dimensions principales et la vitesse sont les suivantes :

	m.
Diamètre.	0,96
Épaisseur	0,35
Nombre de tours par minute. . .	1.200 à 1.600

L'air, amené par le conduit en tôle et fonte, était introduit dans le cendrier par une ouverture quadrangulaire de 0m,25 de côté, placée à 0m,60 en contre-bas de la grille.

Toutes ces dispositions terminées, on fit passer dans le four un courant d'air froid pendant quatre jours, pour sécher la sole. Puis on alluma un petit feu d'escarbille dans le cendrier, afin de compléter cette dessiccation. Cependant les fours à creusets étaient achevés, ainsi que le bâtiment nécessaire pour les abriter. On résolut d'en profiter pour faire un certain nombre d'essais préliminaires, avant la mise en feu du four à réverbère.

§ Ier. *Essais au creuset* (1re série).

Pour faire ces essais et surveiller ceux qui devaient être exécutés au four de fusion, nous nous étions assuré le concours de M. Sabatier, contre-maître fondeur d'acier, qui avait déjà, deux ans auparavant, dirigé à l'usine de Montataire des essais sur une assez grande échelle ayant pour objet la fusion des aciers puddlés, avec addition d'une certaine quantité de fonte comme matière carburante.

Les matières sur lesquelles nos essais actuels devaient porter consistaient dans :

1° Un lot assez considérable de vieilles limes, de toute nature et de toutes provenances ;

2° Un lot d'acier puddlé récemment fabriqué *ad hoc* à l'usine, avec des fontes provenant du fourneau d'Ivoy-le-Pré (Berry) et produites au charbon de bois ;

3° Un lot d'acier puddlé récemment fabriqué avec des fontes à l'anthracite provenant des hauts fourneaux d'Ystalifera (pays de Galles).

On se proposait de constater le degré de fusibilité et la qualité des aciers à fondre, et de reconnaître :

1° Si l'addition d'un laitier altérait ou non la qualité des aciers à fondre ;

2° Si le laitier exerçait une action corrosive sur les creusets.

Les laitiers à essayer consistaient en débris de verre à bouteille, et en un lot de laitiers choisis provenant des hauts fourneaux au charbon de bois de Couvin (Belgique), qui produisent des fontes de fer fort justement renommées.

Les essais furent exécutés du 29 novembre au 4 décembre, avec de très-grandes difficultés provenant de la mauvaise qualité du coke, et probablement aussi des creusets qui, fabriqués depuis deux ans et conservés sans les précautions nécessaires, avaient pris une humidité dont il était presque impossible de les débarrasser sans les faire éclater. La plupart de ceux qui résistèrent à la recuite se percèrent pendant la fusion ou furent empâtés à leur partie inférieure par les scories du coke, en sorte qu'on ne put les arracher de la cuve qu'en les brisant et en perdant l'acier qu'ils contenaient. Cependant, on parvint à couler quelques lingots, notamment d'acier de limes, fondu seul et avec addition de verre.

Ces limes avaient été choisies avec soin parmi les moins oxydées et les plus belles d'aspect. On les avait cassées au marteau par le milieu, et l'on avait formé des deux moitiés deux lots d'une composition parfaitement identique. Toutes les limes qui cassaient mal ou présentaient un mauvais grain avaient été rejetées. Des deux lots semblables, l'un était fondu à creuset nu, sans aucune addition, l'autre en ajoutant du verre pilé ou un mélange de verre et de chaux, de manière à remplir les interstices des morceaux d'acier. Les quelques lingots d'acier de limes similaires que l'on put sauver furent soumis au laminage, entre les cylindres ébaucheurs du gros train à fers marchands, convenablement ralentis et desserrés. Ils se comportèrent également bien, s'étirant sans criques ni pailles, bien que les cylindres fussent très-mal disposés pour le laminage de l'acier. On fit forger des burins avec une barre laminée d'acier de limes

fondu sans addition, et avec une barre du même acier fondu dans un bain de verre à bouteille. Ces burins résistèrent également bien à toutes les épreuves. Un lingot fondu avec un mélange de verre et de chaux donna les mêmes résultats. De ces essais, nous conclûmes que l'addition du verre n'exerçait aucune action nuisible sur l'acier. De plus, l'examen des creusets qui avaient servi à la fusion nous convainquit que le verre seul ne corrodait nullement ces creusets, et que le verre additionné de chaux ne les rongeait que très-faiblement. C'étaient là des résultats importants et complétement favorables au futur succès de la fusion des aciers dans le four à réverbère sous un bain de silicates à bases multiples.

On crut encore pouvoir conclure de ces essais que les limes sur lesquelles on comptait opérer en grand étaient de bonne qualité et donneraient des lingots susceptibles d'être bien forgés.

Les essais d'acier puddlé n'ont pas réussi, les creusets se perçant avant la coulée ou se brisant quand on les arrachait. On n'a pu obtenir qu'un lingot d'acier puddlé fondu sans addition (provenant de fonte d'Ivoy). Ce lingot s'est bien comporté au laminage. Les seules conclusions que l'on ait pu tirer de ces essais sont :

1° Que la fusion paraissait s'accomplir plus facilement dans les creusets contenant du verre que dans les creusets qui ne renfermaient que de l'acier, celui-ci se décarburant toujours un peu, malgré le couvercle placé sur le creuset;

2° Que les aciers puddlés fabriqués à Montataire, bien qu'on eût choisi les plus carburés, étaient néanmoins tellement mélangés de zones ferreuses que la fusion, sans addition de matières carburantes, en paraissait impossible industriellement.

Cependant, comme le mauvais succès de ces essais de fusion au creuset pouvait n'être que la conséquence de la mauvaise qualité du coke employé, et comme il était d'ail-

leurs incertain si l'on pourrait de longtemps se procurer du coke d'une pureté suffisante, on résolut de modifier le four à creusets de manière à déterminer la fusion au moyen de la flamme et de la chaleur réfléchie, sans contact du combustible avec les creusets. M. Sabatier proposa, à cet effet, une disposition qu'il avait vu employer avec succès. Elle consistait à établir, dans le massif réservé entre les deux fours à coke, une cuve pouvant recevoir quatre creusets. Cette cuve devait être mise en communication par deux carneaux latéraux avec les anciens fours à deux creusets, transformés en simples foyers de chauffage. Deux rampants superposés, pratiqués dans la paroi postérieure de la cuve, à angle droit avec le plan passant par les deux foyers, devaient jeter la flamme dans la cheminée. Dans ce système les foyers sont chauffés moitié au coke moitié à la houille, le coke étant chargé dans la partie des foyers contiguë à la cuve, et la houille dans la partie la plus éloignée. De cette manière, la flamme de la houille ne vient lécher les creusets qu'après avoir traversé une couche de coke incandescent, laquelle agit en outre sur eux par réflexion. De plus, il n'y a jamais de refroidissement dans la cuve par suite de l'introduction de combustible frais. Celui-ci est en effet chargé dans la partie supérieure des foyers, qui est isolée de la cuve, et n'arrive en face des carneaux qu'après s'être élevé à une haute température. On s'occupa immédiatement de réaliser cette nouvelle disposition.

§ II. — 1° *Fusion au four à réverbère.*

Cependant la sole du four à réverbère avait été complétement séchée et cuite à la température rouge. Elle s'était très-bien comportée et ne montrait aucune fente. On éleva la chaleur au blanc soudant, où elle fut maintenue 4 heures, et on la laissa retomber au rouge. On s'aperçut alors qu'il s'était formé dans la sole un assez grand nombre de fentes,

suivant des lignes courbes et irrégulières. On laissa le four se refroidir lentement, et l'on boucha soigneusement toutes ces fentes avec de la terre réfractaire mélangée de ciment broyé très-fin. Ce mélange fut chassé fortement dans les fentes au moyen de burins à tranchant émoussé. On put faire cette opération en pénétrant dans le four par l'autel, dont le couronnement n'avait pas été placé, en prévision de cette éventualité. La réparation de la sole terminée, on compléta l'autel et l'on éleva lentement la température du four jusqu'au blanc soudant, où elle fut maintenue pendant 24 heures. Aucune fente nouvelle ne se manifesta dans la sole, dont la surface subit, sous l'influence des cendres de la houille, un commencement de fusion pâteuse, et fut ainsi parfaitement vernie et glacée. On se reprit à espérer de bons résultats de cette sole, sur laquelle les fentes nombreuses qu'elle avait éprouvées avaient fait concevoir des craintes sérieuses. Toutes les dispositions furent immédiatement prises pour opérer une première fusion destinée à s'assurer si le four produisait une température suffisamment élevée.

On résolut d'employer des limes, seul acier dont la fusibilité eût été constatée au creuset. Celles dont on disposait étaient sensiblement rouillées, et il eût été très-long et très-difficile de les nettoyer. Ces limes, en général assez longues, furent réunies en petits paquets de 8 à 10 kil., liés avec du fil de fer. On en prépara 600 kil.

A défaut de lingotières convenables pour couler une telle masse d'acier, on crut pouvoir employer d'anciennes coquilles à cylindres existant à l'usine. On fut obligé, pour obtenir une capacité suffisante, d'en superposer deux, l'une de $0^m,32$ de diamètre, l'autre de $0^m,28$. On les raccorda le mieux possible avec un mélange de terre et de graphite. Le mode de coulée adopté fut celui qui est connu dans les fonderies sous le nom de coulée à la quenouille. Il consiste à recevoir le métal liquide dans une poche garnie de terre et

percée au fond d'un trou qui est bouché au moyen d'une forte tige en fer garnie de terre séchée. La poche pleine de mètal étant amenée au-dessus du moule ou de la lingotière. on lève la tige formant soupape, et le métal fondu s'écoule bien verticalement dans la capacité destinée à le recevoir. Cette verticalité du jet a une importance capitale quand il s'agit de l'acier. En effet, si le jet vient à toucher les parois de la lingotière en fonte, il se fige partiellement, par suite du refroidissement subit qu'il éprouve. De là résulte dans le lingot une paille longitudinale qui ne se ressoude jamais. Aussi, dans les aciéries, tout lingot touché est rebuté et refondu. La coulée à la quenouille paraît être le seul moyen d'éviter cet accident, lorsque l'on opère sur de grandes masses.

Le 19 décembre, le four étant chaud et maintenu au rouge depuis deux jours, on a chargé les paquets de limes dans les cornues à la suite du four à dix heures du soir, en ajoutant quelques morceaux de charbon de bois destinés à prévenir l'oxydation par leur transformation en acide carbonique. Les cornues n'étaient pas encore rouges, ayant été laissées ouvertes jusque-là. Elles ne devaient atteindre cette température que dans la nuit, par l'échauffement des massifs. Les portes des cornues, faites en tôle forte garnie de terre intérieurement, et assujetties par des charnières, furent fermées et lutées aussi hermétiquement que possible. Ordre fut donné au chauffeur d'élever pendant la nuit le four au blanc soudant.

Le 20 décembre, à huit heures du matin, le four étant porté au blanc éblouissant par le simple tirage naturel, on chargea environ 300 kil. de verre à bouteille sur la sole. On donna le vent à huit heures et demie; à neuf heures et demie, le verre était fondu et à un haut degré d'incandescence. On chargea aussitôt les paquets de limes dans ce laitier. Mais on s'aperçut que ces limes, qui étaient portées au rouge depuis plusieurs heures, avaient éprouvé une assez

forte oxydation, due à des fentes qui s'étaient faites dans les cornues et au jeu que les portes avaient pris par suite de la dilatation des tôles de l'armature. Il s'était ainsi établi un courant d'air qui avait consumé le charbon et oxydé les limes, principalement à l'entrée des cornues. Par suite de la longueur des limes et de la grosseur un peu trop forte des paquets, on ne put charger d'abord que 400 kil. d'acier. Il parut même convenable d'ajouter environ 140 kil. de verre en morceaux, pour mieux garantir le métal. Le chargement fut terminé à dix heures du matin, et l'on donna le vent, après avoir fermé et soigneusement luté les portes en fonte du cendrier.

A onze heures, les limes étaient complétement affaissées à l'état pâteux au fond du bain de laitier, qui était parfaitement liquide. On chargea sans difficulté les 200 kil. de limes restant dans les cornues, ce qui compléta la charge de 600 kil. d'acier. Le vent fut donné de nouveau. A midi et demi, il y avait déjà de l'acier fondu sur la sole, et l'on ne sentait plus en sondant de morceaux durs. A une heure et demie, tout l'acier était complétement fondu et tellement chaud qu'il rongeait les baguettes de fer qu'on y plongeait. On fit mélanger et brasser le bain par un puddleur qui sentit toutes les matières parfaitement liquides et la sole très-unie. Cet ouvrier ayant laissé son ringard dans le bain quatre ou cinq minutes, le crochet de cet instrument fut corrodé et coupé par l'acier.

A deux heures, on procéda à la coulée. Le trou de coulée fut débouché sans difficulté, et l'acier s'écoula dans la poche sous la forme d'un jet incandescent, lançant des étincelles brillantes. Aussitôt qu'on vit apparaître du laitier, le trou fut bouché au moyen d'un bouchon de terre grasse mélangée de charbon de bois pulvérisé, ajusté sur un disque de fer formant l'extrémité d'une longue barre. Ce bouchage fut effectué sans difficulté. Mais on perdit un peu de temps pour enlever la poche à la grue et la porter au-

dessus des coquilles. Néanmoins, la coulée réussit. On ferma immédiatement la coquille supérieure avec un disque de tôle préparé à cet effet, chargé de sable et de poids, pour éviter le boursouflement de l'acier. Le peu de laitier qui avait coulé dans la poche était tombé en partie dans les coquilles à la suite de l'acier. Mais c'était plutôt un avantage qu'un inconvénient, car la surface supérieure de l'acier se trouvait ainsi abritée du contact de l'air. On s'aperçut alors qu'une croûte d'acier d'épaisseur variable était restée adhérente aux parois de la poche. Ce résultat était dû à l'insuffisance de la température à laquelle cette poche avait été élevée par les moyens ordinaires employés dans les fonderies de fer, et au temps perdu pour le transport de la poche. On ne peut, du reste, éviter complétement les fonds de poche, même avec la fonte, matière bien plus fusible que l'acier. Pour les avoir aussi faibles que possible dans notre système de coulée, il conviendra :

1° De garnir les poches en terre très-réfractaire et de les chauffer au blanc par des dispositions particulières ;

2° De placer les moules ou lingotières dans une fosse pratiquée sous le trou de coulée, de sorte que la poche à quenouille repose directement sur l'orifice de la lingotière.

La coulée terminée, on laissa un peu refroidir le four afin de constater son état. On reconnut que ni la voûte ni les parois n'avaient sensiblement souffert. Le mortier des joints de la voûte avait seulement un peu coulé et formé quelques stalactites, appelées chandelles par les chauffeurs. Mais la sole avait subi quelques détériorations assez graves. Le bord vertical situé au-dessus du trou de coulée s'était affaissé dans le laitier, soit qu'il eût été ramolli par la chaleur, soit que n'étant pas maintenu par un rang de briques superposées, par suite de l'existence d'une porte à cet endroit, il eût été détaché par le ringard employé pour faire la percée. De plus, le bord de la sole adjacent au grand autel présentait une échancrure de $0^m,25$ à $0^m,30$ de lar-

geur. En sondant cette partie de la sole, on s'aperçut qu'elle n'offrait aucune cohésion, et qu'elle était presque à l'état pulvérulent. On donna alors un coup de feu de quelques minutes, on reperça le trou de coulée et l'on fit écouler la presque totalité du laitier.

Cet état de la sole, joint au manque de lingotières et au désir de s'assurer préalablement de la qualité et de la texture du lingot obtenu, nous confirma dans la détermination déjà prise de ne faire ce jour-là qu'une fusion, et de laisser refroidir le four; ce qui fut exécuté.

Le lendemain, le lingot fut démoulé, examiné et pesé. Il présentait une surface unie et très-convenable pour un bon martelage. Mais la garniture placée au raccordement des deux coquilles n'avait pas résisté. L'acier s'était introduit dans la fissure formée par les deux surfaces planes de ces coquilles, imparfaitement jointives. Il en était résulté une forte bavure. Une autre bavure existait à la base du lingot, ainsi que cela a lieu presque toujours, par suite de la pénétration de l'acier entre la plaque de fonte formant le fond de la coquille inférieure, et la paroi de cette coquille. Il était résulté de là que la partie cylindrique inférieure du lingot ne pouvant céder librement au retrait, s'était gercée à $0^{m},6$ environ au-dessous de la commissure des deux coquilles. C'est là un accident qui arrive toutes les fois qu'un lingot se trouve pris par ses deux extrémités et arrêté dans son retrait. Le mode de fusion et de coulée n'y est pour rien.

Le poids du lingot fut trouvé de 409 kil. Ce poids, rapproché du volume obtenu par le cubage des deux cylindres, n'accusait qu'une densité de 6,7, densité très-faible et révélant l'existence de bulles ou d'une cavité centrale. Pour s'en assurer, on cassa le lingot à l'endroit de la gerçure, sous un pilon de 3.000 kil. Il fallut plusieurs coups à toute volée pour déterminer la rupture. La cassure présenta au centre une partie assez compacte, n'offrant pas plus de

bulles que les lingots fondus au creuset; mais la circonférence, sur une épaisseur de $0^m,06$ à $0^m,07$, était criblée de bulles partant de la surface et se dirigeant obliquement de bas en haut vers le centre, suivant la direction des rayons du cylindre. Ces bulles, allongées et séparées par de minces cloisons, paraissaient dues à des gaz qui auraient pris naissance au contact de la coquille, et qui ne trouvant pas d'issue, se seraient logés dans l'acier liquide, en remontant en vertu de leur légèreté. On tenta inutilement de casser sous le pilon la partie inférieure du lingot, présentant une longueur d'environ $0^m,55$. Il fallut recourir au casse-fonte. Le lingot, placé sur deux appuis distants de $0^m,50$, résista encore à la chute d'un mouton de 1.600 kil. tombant de 13 mètres de hauteur. Il ne céda qu'au choc d'une boule de 3.000 kil. tombant également de 13 mètres, résultat qui dénote une résistance à froid extraordinaire, pour de l'acier fondu non forgé. La cassure de cette partie inférieure du lingot présenta encore la couronne bulleuse signalée plus haut, sur une épaisseur assez régulière de $0^m,6$ seulement. Mais le centre était compacte, sauf une ou deux petites bulles, et offrait un grain magnifique comparable à celui du plus beau fer. Il était évident que la couronne bulleuse de la circonférence était due au contact des coquilles, soit que la surface de ces coquilles étant piquée de rouille et flambée à la résine, il se soit développé, par la réaction de l'oxyde de fer et du charbon, sous l'influence de la haute température de l'acier en fusion, un dégagement d'oxyde de carbone qui, ne pouvant trouver d'autre issue, s'est logé dans le métal liquide; soit que l'acier saisi par un refroidissement brusque dû à la grande épaisseur des parois de la coquille, ait laissé échapper subitement les gaz que la plupart des métaux liquides paraissent tenir en dissolution.

Le maître fondeur de l'usine, possédant une grande expérience, nous dit que le même phénomène de production

de bulles s'était plusieurs fois manifesté lorsqu'il coulait des cylindres en fonte trempée dans des coquilles qui n'avaient pas servi depuis longtemps. Ce fait nous confirma dans la persuasion que la singulière couronne de bulles de notre lingot était due uniquement au réceptacle dans lequel il avait été coulé, sans toutefois nous révéler le mystère de l'action chimique ou physique qui avait produit ce développement anormal de gaz. La compacité des lingots coulés ultérieurement dans des lingotières neuves à parois minces ne permet d'élever aucun doute sur cette appréciation.

La partie supérieure de ce lingot fut chauffée dans un four à recuire les bandages de wagons, pour être ensuite soumise à un essai de forgeage. M. Sabatier, pensant qu'un recuit prolongé adoucirait l'acier, le laissa deux heures dans le four, et l'en fit retirer à la température rouge jaune. Cette chaleur nous paraissait trop élevée pour commencer le serrage d'un lingot. Le massiau fut soumis à un pilon de 3.000 kil.; mais le pilonnier, tout à fait inexpérimenté dans le travail de l'acier, ayant, malgré les recommandations à lui adressées, laissé tomber le pilon au cinquième coup de plus d'un mètre de hauteur, le lingot se fendit suivant une des génératrices du cylindre. Cet accident rendait la continuation du forgeage impossible. En conséquence, on acheva de briser le lingot en plusieurs morceaux en faisant agir le pilon à toute volée, pour pouvoir refondre l'acier ultérieurement.

La rupture de ce lingot au forgeage pouvait tenir à quatre causes entre lesquelles il était difficile de se prononcer, savoir : 1° un chauffage trop violent, ou un coup de feu reçu dans le four, n'offrant pas les dispositions spéciales nécessaires pour l'acier;

2° Une température trop élevée du lingot au moment du forgeage. On sait en effet que l'acier fondu martelé trop chaud, tombe en morceaux sous le marteau;

3° Une action trop violente du pilon; la forme peu con-

venable de l'enclume et de la panne, qui étaient larges et plates pour cingler des balles puddlées, tandis qu'il faut, pour serrer et étirer l'acier, des pannes étroites;

4° Enfin, un défaut de qualité dans l'acier.

La suite de nos opérations nous démontra que la difficulté du forgeage tenait à l'emploi de l'acier de limes. Mais ce fut seulement l'expérience de M. Baudry, fabricant d'aciers à Athys, près Paris, qui nous révéla beaucoup plus tard la véritable cause qui rend rouverains les aciers de limes refondues, cause que nous n'avions pas soupçonnée. Disons dès à présent que cette cause est la présence dans les matières fondues de quelques limes ayant servi à limer du cuivre, du bronze ou de l'étain, et retenant à leur surface des parcelles de ces métaux, dont une quotité presque infinitésimale suffit pour rendre le fer, et à plus forte raison l'acier fondu, inforgeable et insoudable.

Un des fragments du lingot brisé sous le pilon fut réchauffé au rouge et passé aux cylindres ébaucheurs du train de puddlage. Il résista aux premières passes, mais aux cannelures ultérieures, les surfaces de rupture, présentant de nombreuses bulles et n'étant pas protégées par la croûte continue qui se forme au contact de la lingotière, ces surfaces se déchirèrent, et il fut impossible d'obtenir une barre régulière. Cependant, quelques morceaux du même acier provenant du jet de la coulée, apportés au dépôt de l'artillerie, furent étirés en barreaux réguliers par les habiles ouvriers de cet établissement, présentèrent un très-beau grain, une grande résistance à froid et une grande dureté à la trempe. Il resta donc encore douteux pour nous, à ce moment, que la rupture du gros lingot fût due à la mauvaise qualité originaire ou acquise de l'acier.

Cependant la sole en terre battue ne paraissait pas pouvoir servir à d'autres opérations. Les dégradations qu'elle avait subies dans les parties en contact avec la flamme, comparées avec la bonne conservation des briques des parois,

prouvaient qu'il fallait employer des matériaux réfractaires soumis à une cuisson préalable. Mais on ne disposait pour cet usage que de briques de faibles dimensions. On espéra qu'en faisant les joints avec beaucoup de soin, on obtiendrait une sole suffisamment résistante, surtout si l'on parvenait à en agglutiner et glacer la surface par un violent coup de feu. Le chef maçon de l'usine, ouvrier d'une grande habileté, se faisait fort de construire une pareille sole en voûte renversée dans les meilleures conditions. Nous nous décidâmes à ordonner la démolition de la première sole et la construction d'une nouvelle en briques posées de champ, la voûte et les parois étant conservées. Cette construction pouvait s'opérer en démolissant seulement le grand autel. Toutefois les briques à employer présentaient un grave inconvénient. Comme elles renfermaient beaucoup de quartz en gros grains, on ne pouvait les tailler ni les roder de manière à leur donner la forme de voussoirs et à rendre les joints parfaits. Le chef maçon pensa pouvoir remédier à cet inconvénient en garnissant les joints d'un coulis de terre réfractaire qu'on y ferait entrer par pression.

En démolissant la sole, on reconnut que toute la partie adjacente au grand autel n'avait aucune cohésion; que la sole avait subi un retrait qui avait produit un vide de $0^m,02$ environ entre elle et l'autel; que cependant l'acier n'avait pas pénétré dans ce vide, ou que s'il y avait pénétré, il était rentré dans la cavité de la sole au moment de la coulée. Tout le reste de la sole avait bien résisté et se détachait nettement du laitier et de quelques plaques d'acier qui y étaient restées retenues. Il s'était formé seulement deux ou trois fentes de quelques millimètres d'épaisseur et de $0^m,06$ à $0^m,08$ de profondeur, dans lesquelles s'étaient moulées des lames d'acier d'un poids insignifiant. Tout l'acier s'était parfaitement fondu, et il n'en restait aucun morceau qui n'eût subi la fusion. On retrouva seulement le reste du crochet du ringard rongé pendant le brassage.

Enfin, il n'était passé aucune portion d'acier sous la sole. Mais ce qui nous causa la plus grande surprise, c'est que la sole, bien qu'ayant subi un coup de feu violent et supporté 600 kil. d'acier en pleine fusion, ne paraissait cuite qu'à $0^m,06$ ou $0^m,08$ de profondeur. Les couches inférieures offraient l'aspect de la terre crue desséchée. Ce fait singulier, en nous démontrant combien l'argile réfractaire est mauvaise conductrice de la chaleur, nous fit espérer que, lors même qu'une sole en briques présenterait quelques joints imparfaits, l'acier rencontrerait bientôt une zone trop froide pour s'y maintenir à l'état liquide; qu'ainsi les joints se boucheraient d'eux-mêmes, et qu'on en serait quitte pour une perte d'acier insignifiante sur plusieurs fusions successives, qui se retrouverait d'ailleurs à la fin de la campagne.

Voici les résultats de cette première fusion en matières consommées et produites :

		kil.
Vieilles limes fondues.		600
Lingot d'acier obtenu	409	
Fond de poche.	51	528
Fragments dans le laitier et sur la sole.	68	
Déchet apparent.		72

Soit 12 p. 100 de déchet.

Mais ce déchet est bien supérieur à la réalité. En effet, il est resté dans le laitier un grand nombre de grenailles qui se seraient réunies si l'on avait continué les fusions, et que l'on aurait retrouvées, dans tous les cas, en bocardant et lavant les laitiers comme cela se pratique pour les hauts fourneaux. Mais il n'existe pas à Montataire de bocard pour cette opération. De plus, on s'aperçut que la bascule sur laquelle on avait pesé les limes avant la fusion n'était pas juste et pesait un peu faible, tandis que les produits furent pesés sur une balance très-juste. Nous croyons donc que le déchet réel n'excède pas 7 ou 8 p. 100, si même il atteint

ce chiffre. Dans tous les cas, ce déchet est dû presque en entier à la rouille dont les limes étaient couvertes et à l'oxydation qu'elles avaient subie dans les cornues. Les oxydes en effet ont été immédiatement dissous dans le laitier, comme le prouve le rapide décapage des baguettes de fer que l'on plongeait dans le bain pendant la fusion. Enfin, il a pu se brûler une faible quantité d'acier par suite de la saillie de quelques bouts de limes au-dessus du bain. Dans tous les cas, il sera convenable de ne fondre, en marche industrielle, que des aciers non oxydés, comme cela se pratique dans la fusion au creuset. On évitera ainsi d'avoir des déchets apparents considérables et de surcharger les laitiers d'oxyde de fer, au bout d'un certain nombre de fusions.

Il ne fut pas tenu note exacte du combustible consommé pendant cette fusion. On constata seulement, pendant les dernières heures, que le four brûlait à peu près 300 kil. de houille par heure. La fusion ayant duré en tout quatre heures, à partir du premier chargement d'acier, la consommation a été, à très-peu près, de 1.200 kil. de houille pour 600 kil. de métal liquéfié, soit deux parties de combustible pour une d'acier. Il n'est pas tenu compte ici de la quantité beaucoup plus considérable de combustible consommée pour le séchage et la cuisson du four et de la sole, ni de celle employée pour la fusion du laitier. Cette dernière consommation peut être évaluée à 450 kil. pour une heure et demie de chauffage. Nous ferons observer qu'en marche industrielle, les frais de séchage et d'échauffement devront se répartir sur toute la campagne du four, et ceux de fusion du laitier sur le nombre de fusions auxquelles le même laitier servira, nombre qui sera au moins de huit.

On ne doit pas s'étonner de n'avoir obtenu dans la poche, à la première coulée, que 460 kil. d'acier liquide, et d'avoir laissé dans le four une soixantaine de kilogrammes de métal. C'était un résultat prévu et qui se produira toujours plus

ou moins à la première coulée. Il devra toujours, en effet, rester alors une certaine quantité d'acier retenue par les anfractuosités de la sole et par la viscosité du laitier. Mais cette quantité est une première mise qui se transmet de coulée en coulée, et que l'on retrouve à la fin de la campagne, lorsque la sole est renouvelée. C'est ce que les fusions suivantes mettront en évidence.

Pendant qu'on procédait à la reconstruction de la sole, nous fîmes placer sur un tour l'un des deux fragments de la partie inférieure du lingot pour en enlever la surface et constater l'étendue de la zone bulleuse. On enleva $0^m,05$ d'épaisseur sur la moitié de la hauteur de ce fragment, et l'on reconnut que les bulles affectaient partout la même disposition, prenant naissance au-dessous de la mince croûte solide qui formait la surface du lingot, et se dirigeant vers l'axe obliquement de bas en haut. Ce fait achevait de démontrer que les bulles étaient dues au développement de gaz qui avaient pris naissance au contact des coquilles, et qui avaient cherché leur issue à travers l'acier liquide, mais n'avaient pu s'échapper, la solidification du métal ayant été trop prompte.

Pour éviter le retour de cet accident, nous fîmes couler en fonte une lingotière pouvant contenir environ 600 kil. d'acier, formée de trois pièces et représentée Pl. IV, *fig.* 6. Cette lingotière se composait d'une partie cylindrique de $0^m,36$ de diamètre sur $0^m,60$ de hauteur, d'une partie tronc-conique haute de $0^m,20$ et d'un diamètre de $0^m,20$ à la petite base; enfin d'une seconde partie cylindrique se raccordant à la partie tronc-conique, ayant $0^m,20$ de diamètre et $0^m,40$ de hauteur, et ouverte par le haut. La lingotière avait aussi la forme d'une espèce de bouteille ou de bidon, comme ceux que l'on emploie pour renfermer l'huile à brûler. Le fond était formé d'une plaque de fonte offrant une surface lenticulaire concave de $0^m,04$ de flèche. Voici les raisons de ces dispositions : nous nous proposions

de faire forger, avec les lingots obtenus, des noyaux ou âmes de pièces de campagne du calibre de 4. De là la forme cylindrique adoptée pour la panse de la lingotière. Il faut réduire, par le forgeage, les lingots d'acier au quart environ de leur section primitive pour obtenir un bon serrage et effacer toutes les bulles. Or les noyaux de canons devaient être, dans notre pensée, réduits à $0^m,18$ de diamètre, pour recevoir une bague à tourillons et un cerclage au tonnerre. C'est pourquoi l'on adopta, pour la lingotière, le diamètre de $0^m,36$, donnant une section quadruple. Le goulot formant la partie supérieure de la lingotière avait pour but d'obtenir, avec une quantité moins considérable de métal, une masselotte suffisamment élevée pour comprimer fortement le corps du lingot, lui donner une grande densité et éviter les bulles autant que possible. Enfin, la forme lenticulaire concave de la plaque de fond, destinée à se reproduire convexe sur le lingot, avait été adoptée pour éviter que, la surface du lingot s'étendant plus que le centre au forgeage, il ne se formât à la base une cavité qui aurait rendu plus difficile l'étampage de la culasse. Quoique nous n'ayons pas réussi à forger des noyaux de canon, par des raisons qui seront exposées plus loin, il ne nous est pas démontré que ces dispositions ne soient pas avantageuses pour le coulage des lingots destinés à cet emploi.

Une seule lingotière ne pouvant suffire pour plusieurs coulées successives, nous en fîmes fondre une seconde du même modèle, mais en allongeant de $0^m,30$ la partie cylindrique supérieure ou goulot, qui fut ainsi porté à $0^m,70$, à partir de son raccordement avec le segment tronc-conique. Cet allongement avait pour but d'admettre une plus forte masselotte d'acier, et au besoin même une certaine quantité de laitier au-dessus du métal, pour augmenter la pression.

En même temps nous fîmes monter un tambour en tôle pour dérouiller les limes, que nous comptions y faire tourner

avec du sable. On fit marcher quelque temps le tambour à bras d'hommes, mais ce travail n'avançant pas assez vite et étant beaucoup trop coûteux, on fut obligé d'y renoncer après avoir nettoyé environ 300 kil. de limes cassées en morceaux.

La reconstruction de la sole en briques employa trois jours. Les lingotières étaient terminées à la fin de décembre et l'on comptait remettre en feu aussitôt après les fêtes du premier de l'an. Mais le dégel du commencement de janvier 1861 et la crue énorme de l'Oise et du Thérin, cours d'eau sur lequel est située l'usine de Montataire, ne le permirent pas. L'eau remplit complétement les conduits souterrains des cheminées, les fosses des volants, pénétra les fondations des fours et contraignit la forge à un chômage complet de douze jours. On ne put rallumer les feux que le 12 janvier, et il fallut quarante-huit heures pour sécher et porter au blanc les fours à réchauffer, au lieu de cinq ou six heures que cette remise en train exige d'ordinaire.

§ III. — 2° *Fusion au four à réverbère.*

Le four de fusion fut rallumé le 15 janvier à quatre heures du soir. Voici dans quelles conditions il se trouvait : l'ancienne voûte avait été conservée; mais comme elle était usée de $0^m,02$ environ, les nouveaux autels avaient été relevés de cette quantité. La nouvelle sole, construite en briques réfractaires de première qualité posées de champ en voûte renversée, présentait au trou de coulée une profondeur de $0^m,18$, supérieure de $0^m,02$ à celle de la première sole en terre battue. Son épaisseur était de $0^m,12$, égale à la largeur des briques. Elle reposait sur une seconde rangée de briques réfractaires à plat, et sur une couche de ciment damé dans les vides laissés par les courbures et les relèvements.

Le four était très-froid et très-humide, les fondations

ayant été complétement imbibées d'eau par l'inondation précédente. On chauffa d'abord doucement, et on éleva la température progressivement jusqu'au lendemain 16 janvier à huit heures du matin, moment où l'on donna un bon coup de feu pour glacer la sole. A onze heures le four était au blanc éblouissant, et la sole paraissait très-unie et bien glacée. On chargea de suite le laitier de l'opération précédente. Ce laitier avait conservé en majeure partie son aspect vitreux, et s'était dévitrifié dans quelques portions qui présentaient un aspect pierreux grisâtre et une cristallisation en aiguilles. Néanmoins, ces parties dévitrifiées étaient restées très-fusibles, ce dont nous nous assurâmes en en faisant fondre des fragments dans un four à réchauffer. Le laitier ne fut bien liquide et incandescent qu'à deux heures après midi. Il avait donc fallu $3^h,15$ pour le bien fondre, tandis qu'il avait suffi de $1^h,30$ dans la première opération. Ce résultat nous prouva que les massifs du four n'étaient pas bien échauffés et retenaient encore de l'humidité. Cependant, comme le laitier paraissait très-liquide, on opéra le chargement du métal. La charge se composait de 600 kil de vieilles limes paraissant assez dures, cassées à la main, et en partie dérouillées au tambour en tôle dont il a été question ci-dessus. Ces limes avaient été échauffées au rouge vif dans les cornues avec du poussier de charbon de bois destiné à en prévenir l'oxydation. Ce dernier résultat avait été atteint, sauf pour quelques morceaux de limes qui, se trouvant placés près des fentes des cornues, s'étaient en partie brûlés et agglutinés. On chargea les morceaux de limes rougis avec le poussier qui y était mélangé, celui-ci ne pouvant que surnager sur le bain et continuer pendant le chargement à préserver l'acier de l'oxydation. Toute la charge fut introduite en une seule fois. Le chargement fut terminé à deux heures et demie.

La grille étant nettoyée, le vent fut donné. Quoique les dimensions du rampant du four fussent restées les mêmes,

il nous sembla que le tirage était moins bon et la flamme à l'intérieur du four moins ardente qu'à la première fusion. Cela pouvait s'expliquer par trois causes : 1° l'humidité des conduits et des fondations de la cheminée ; 2° le chômage d'un four à puddler voisin du nôtre et aboutissant à la même cheminée ; 3° une certaine infériorité de qualité dans la houille.

Pendant la fusion, on éprouva de grandes difficultés pour ouvrir et refermer les portes du four. Les frettes en fer des obturateurs en briques réfractaires rougissaient sous l'influence des dards de flammes sortant par les joints, se dilataient et se collaient aux parois. Il était de plus très-difficile de sonder le bain en introduisant des baguettes obliquement par les portes. Pour remédier à ces inconvénients, on perça au fleuret deux trous verticaux de 0^{m},04 de diamètre dans la voûte, l'un au-dessus du trou de coulée, l'autre un peu en avant du petit autel, à l'extrémité de la sole. On put aisément sonder le bain en introduisant par ces trous des baguettes de fer.

Malgré l'allure moins bonne du four, tout l'acier était en pleine fusion à sept heures et demie du soir, après cinq heures de feu. On le tint liquide pendant une heure encore avant de pratiquer la coulée. Celle-ci fut effectuée à huit heures et demie, après six heures de chauffage. L'acier fut reçu dans une poche garnie et chauffée comme pour la coulée de la fonte de fer, mais percée par le fond et pourvue d'une soupape dite quenouille, comme à la précédente fusion. Le jet d'acier qui s'écoula était blanc bleuâtre, parfaitement liquide, et ne lançait que peu d'étincelles. Lorsque le laitier commença à se montrer, on recueillit dans une petite poche une partie du liquide mélangé d'acier qui s'écoulait, et on le coula dans une lingotière de 20 kil. pour obtenir un échantillon du métal. On fit de suite boucher le trou de coulée. Mais le bouchage fut manqué par l'ouvrier, partie à cause de la trop faible dimension du bouchon, partie à cause

de la longueur encore trop grande du canal de coulée. Le laitier, liquide comme de l'eau, continua de couler, remplit la poche, et déborda même par dessus. Cependant on avait préparé un nouveau bouchon plus gros, et l'on parvint à fermer le trou de coulée. On perdit quelque temps pour accrocher l'anse de la poche, dont la disposition était imparfaite. La poche fut enfin enlevée au moyen de la grue et amenée au-dessus de la lingotière cylindro-conique préalablement flambée au goudron, chauffée et descendue dans une fosse. On voulut soulever la quenouille pour couler par le fond. Mais il se trouva que la quenouille de fer, trop faible ou insuffisamment garnie de terre, s'était coupée, ou plutôt fondue dans l'acier pendant la manœuvre de la poche. On se résolut immédiatement à couler dans la lingotière en versant avec la poche, comme cela se pratique pour la fonte de fer. Mais, la poche étant pleine d'une grande quantité de laitier nageant sur l'acier, ce laitier très-liquide tomba le premier dans la lingotière, et se figea contre ses parois sur une épaisseur de $0^m,005$ ou $0^m,006$. Le métal arrivant ensuite se moula dans cette enveloppe de laitier figé, en faisant remonter et déborder par-dessus l'orifice de la lingotière le laitier demeuré liquide. Enfin, dans ce mode imprévu de coulée, une certaine quantité d'acier fut versée hors de la lingotière. Cet accident nous convainquit qu'il valait mieux, pour opérer la coulée, placer la lingotière dans une fosse pratiquée devant l'embrasure du four, ajuster la poche sur l'orifice, et lever la soupape aussitôt que l'acier serait écoulé du four. De cette manière, on évitera le transport de la poche pleine d'acier et les pertes de temps qu'il occasionne.

Désirant nous assurer, par le poids du lingot obtenu, si la sole avait bien résisté, nous ne fîmes pas recharger le four et laissâmes tomber lentement la température. D'ailleurs nous n'avions pas un second poste d'ouvriers pour travailler la nuit, la fonderie ne marchant que le jour.

Le lendemain 17 janvier, le lingot fut démoulé. Il avait rempli toute la partie cylindro-conique de la lingotière, et de plus $0^m,15$ du goulot cylindrique. La surface n'était pas unie, mais couverte de rugosités et de cavités, dues aux aspérités de la croûte de laitier dans laquelle il s'était solidifié. Mais ces rugosités et cavités n'étaient pas profondes, et ne communiquaient nullement avec les bulles pouvant exister dans l'intérieur du lingot. Elles ne devaient point nuire au martelage, qui en aurait fait disparaître la majeure partie.

	kil.
Le poids du lingot fut trouvé de.	464
Pesé dans l'eau, il accusa un poids de. . .	402,5
Perte correspondant au volume en litres. .	61,5

D'où la densité $= \frac{464}{61,5} = 7.544.$

Cette densité, supérieure à celle de presque tous les lingots obtenus au creuset, démontre que ce lingot était compacte et renfermait très-peu de bulles. En effet, la densité de l'acier fondu massif et écroui est de 8,013. La différence de 0,469 entre cette densité et celle du lingot, n'accuse que 5,8 pour 100 de vides dans la masse.

	kil.
Outre le lingot principal pesant.	464
On a recueilli des fragments d'acier tombé en coulant et un très-petit fond de poche pesant ensemble.	77
Petit lingot d'essai.	2
Total de l'acier retiré du four	543
D'où l'on trouve par différence pour le déchet et l'acier resté dans le four	57
Total égal à la mise.	600

Comme le déchet provenant de la rouille et de l'oxydation des limes a dû être au moins de 3 pour 100, on voit qu'il serait resté dans le four et dans le laitier à l'état de grenailles moins de 40 kil. d'acier, quantité très-faible pour une première fusion, et qui dénote une bonne construction

et une absence à peu près complète d'infiltration dans la sole. En conséquence nous résolûmes d'exécuter sur cette même sole les fusions auxquelles devaient assister MM. le colonel Treuille de Beaulieu et le capitaine Caron.

Le petit lingot d'essai pris dans la coulée ne se trouva peser que 2 kil. et trop court pour être régulièrement étiré. L'essai ayant été pris tout à fait à la fin de la coulée, on n'avait guère recueilli que du laitier, qui avait rempli toute la partie supérieure de la petite lingotière. Pour essayer d'étirer ce petit lingot, on fut obligé de le couper à chaud à la tranche en deux parties, par le milieu de sa base. Une des moitiés fut forgée à la température rouge, elle s'étira sans criquer sur les trois côtés formés par la croûte extérieure. Mais il se forma des criques sur la face coupée à la tranche. On put néanmoins en étirer un petit burin qui prit une très-grande dureté à la trempe.

L'acier de cette fusion paraît plus carburé et plus dur que celui de la première, qui offrait tous les caractères d'un acier très-doux. Cette différence peut provenir soit de ce que les limes de la première fusion étant plus oxydées ont été plus décarburées par l'action de l'oxyde pendant le réchauffage et pendant la fusion, soit de ce que les limes de la seconde fusion avaient été cassées à la main à froid, en rejetant celles qui ne se brisaient pas, et qui étaient par conséquent les moins dures. Les limes de la première fusion n'ayant été ni triées ni cassées, ont pu renfermer un certain nombre de morceaux décarburés par de nombreux retaillages, ou même des limes en fer trempé au paquet, que l'on fabrique sur une assez grande échelle, et dont le noyau reste toujours ferreux. Nous ne pensons pas que le poussier de charbon au milieu duquel les limes de la seconde fusion avaient été réchauffées et qui a été chargé avec elles dans le four ait pu les sur-cémenter. En effet, ces limes ne sont restées que quatre heures dans les cornues, temps insuffisant pour une cémentation même superficielle, et

d'un autre côté le poussier introduit dans le four est resté à la surface du bain et s'est promptement brûlé, tandis que l'acier tombait au fond de la sole.

Il a été consommé pendant cette opération :

	kil.
Houille pour échauffer le four jusqu'au moment de charger le laitier.	1,850
Houille pour la fusion du laitier et de l'acier.	1,870
Total	3,720

La fusion du laitier et de l'acier ayant duré en tout neuf heures trois quarts, et la consommation ayant été pendant ce temps de 1,870 kil. de houille, le four a brûlé environ 192 kil. à l'heure, quantité notablement inférieure à celle de la précédente opération. La fusion de l'acier depuis son chargement jusqu'à la coulée ayant duré six heures, il a dû être consommé dans ce temps 1,152 kil. de charbon, soit 1,200 kil. pour liquéfier 600 kil. d'acier, ce qui correspond à deux parties de combustible pour une de métal fondu. Ainsi, quoique la durée de l'opération ait été plus longue cette fois nous retrouvons le même chiffre de 2,000 kil. de houille pour 1,000 kil. d'acier ; coïncidence assez remarquable.

§ IV. — 3e et 4e fusion.

(La 3e coulée en présence de MM. le colonel Treuille de Beaulieu, le capitaine Caron et H. Sainte-Claire Deville, le 22 janvier 1861.)

Jour ayant été pris au 22 janvier avec MM. le colonel Treuille de Beaulieu et le capitaine Caron pour opérer une fusion en leur présence, tout fut préparé dans ce but. Nous comptions en outre marteler devant ces Messieurs le lingot de la dernière fusion. On avait engagé pour cet objet le sieur Édouard Fis, marteleur d'acier, désigné par M. Baudry, fabricant d'aciers à Athys près Paris, attendu la complète inexpérience en cette matière des ouvriers de Montataire.

Le 21 janvier à onze heures du matin, on alluma le four qui était complétement froid et contenait sur la sole une couche de laitier figé de l'opération précédente. Les fondations du four étaient encore humides par suite de la dernière inondation et de la hauteur persistante des eaux dans les deux biefs d'amont et d'aval. Le feu fut conduit doucement, à tirage naturel, jusqu'à minuit.

A onze heures du soir, on chargea dans les cornues 600 kil. de vieilles limes, tout venant, sans cassage ni dérouillage, couvertes de poussier de charbon de bois.

On chargea du verre à bouteilles neuf en deux fois :

La première, à . . . . 1h du matin.
La seconde, à . . . . 2h 1/2 —

Le verre étant parfaitement liquide, l'acier fut chargé de même en deux fois, la première charge composée de 400 kil. à . . . . 4h 1/4 —
La deuxième, de 200 kil. à . . . . 5h 1/4 —

En tout 600 kil. Le poussier venu avec l'acier fut chargé pêle-mêle dans le four et resta sur le bain, où il fut promptement brûlé.

Comme on ne savait pas exactement par quel convoi arriveraient MM. les officiers d'artillerie, on se contenta de chauffer au tirage naturel jusqu'à 8h,45m du matin. On constata que l'acier ne fondait pas à cette allure du four, bien que nous eussions fondu ainsi des aciers très-réfractaires aux ateliers du chemin de fer du Nord. Mais le rampant du four actuel, disposé pour marcher à vent forcé, était relativement plus étroit que celui du chemin de fer du nord. Ce dernier four était en outre pourvu d'une cheminée spéciale, dont le tirage est en général plus intense que celui d'une cheminée commune à plusieurs fours.

A 8h,45m, on donna le vent, en ouvrant tout le registre du tuyau porte-vent.

A 10h 1/4, MM. le colonel Treuille de Beaulieu et le capitaine Caron arrivèrent accompagnés de M. H. Sainte-Claire Deville, qui avait bien voulu se joindre à eux. Ces Messieurs examinèrent en détail le four de fusion, les fours d'essai au creuset, et les produits des opérations précédentes. Ils étudièrent les cassures du premier lingot et reconnurent aussi dans la zone bulleuse extérieure, un phénomène accidentel dû à l'action de la coquille, mais étranger au mode de fusion. On leur montra également les aciers fondus au creuset comme terme de comparaison, et ils constatèrent l'identité de qualité entre ceux qui avaient été fondus sans addition et ceux qui l'avaient été avec du verre ou du laitier de haut fourneau.

Cependant, on continuait à pousser le chauffage du four de fusion, auquel le vent était donné depuis 8h,45. Vers midi, l'acier commençait à être fondu ; mais il paraissait encore grumeleux sur les baguettes de fer que l'on y plongeait, tandis que lorsque la fusion est complète, l'enveloppe d'acier qui s'attache à la baguette doit être unie, sans bulles ni grumeaux. La chaleur nous paraissait moins intense que d'ordinaire dans le four. M. Sainte-Claire Deville, qui examina la température des diverses parties de l'appareil avec la haute expérience qu'il possède en pareille matière, remarqua que la chaleur était plus élevée dans le rampant que dans le four, et que même, au delà des deux cornues, à 3 mètres du petit autel, la nappe de flamme que l'on pouvait observer à travers la fente du registre, conservait une température supérieure à celle de la fusion de l'acier. On voyait, en effet, même à ce point, des stalactites de briques fondues, comme à la voûte du four. De tous ces faits, M. Sainte-Claire Deville conclut que le point de plus active combustion, ou « le coup de chalumeau » se trouvait à l'extrémité de la sole, et peut-être beaucoup au delà ; que cette sole pouvait et devait être notablement allongée pour mieux utiliser le combustible ;

enfin, qu'il y aurait lieu d'augmenter l'épaisseur du grand autel, que ce savant trouva beaucoup trop faible, et cela avec raison, comme nous eûmes occasion de le reconnaître le jour même. M. Deville conseilla d'employer des autels d'une épaisseur double ou triple, et exprima l'opinion que l'on trouverait des matériaux assez réfractaires pour résister deux ou trois semaines, sauf à employer des terres autres que celles d'Andennes, qu'il considère comme inférieures aux argiles de Forges et à quelques autres.

A une heure après midi, la fusion de l'acier paraissait complète. On disposa tout pour la coulée. Le système adopté était différent du précédent. Une fosse avait été pratiquée devant l'embrasure de coulée, et l'on y avait placé l'une des lingotières cylindro-coniques, de manière à pouvoir y superposer la poche à quenouille, et à couler sans enlever celle-ci à la grue.

La poche fut disposée au-dessus de la lingotière, de manière que la soupape correspondît bien au centre de l'orifice de celle-ci. Le trou de coulée fut percé à une heure et un quart, et l'acier jaillit en un jet blanc éblouissant et lançant d'assez nombreuses étincelles. On laissa couler un peu de laitier par-dessus, et le bouchage fut opéré sans difficulté, l'entrée du canal de coulée ayant été à cet effet évasé par en haut jusqu'à cinq centimètres du fond. La soupape de la poche fut immédiatement levée, et la coulée s'opéra régulièrement de la poche dans la lingotière, sans aucun accident. On laissa le laitier couler en partie par-dessus l'acier, pour prévenir le boursouflement de celui-ci. La poche vide fut rapidement enlevée à la grue, et un obturateur en fer fut en outre placé sur l'orifice de la lingotière.

Toutes ces opérations eurent lieu en présence de MM. le colonel Treuille de Beaulieu, le capitaine Caron et Sainte-Claire Deville, qui voulurent bien exprimer leur satisfaction de ce résultat.

Pendant la coulée de l'acier, une certaine quantité de métal avait été recueillie dans une petite poche et coulée dans une petite lingotière préalablement disposée à cet effet.

M. Sainte-Claire Deville ayant exprimé l'opinion, reconnue par le fait bien fondée, qu'il était resté une assez grande quantité d'acier dans le four, soit que l'on eût percé un peu trop haut. soit qu'un morceau de brique tombé sur la sole eût obstrué les abords du trou de coulée, on remit la poche et l'on perça une seconde fois. Il vint environ 30 kil. d'acier qu'on laissa figer dans la poche, ne pouvant les couler en lingotière. Le trou de coulée fut rebouché, afin de conserver le laitier fluide pour l'opération suivante :

On procéda au nettoyage de la grille, qui était extrêmement chargée de mâchefer, preuve de la grande impureté de la houille employée dans cette fusion. Deux heures furent perdues dans cette opération, qui aurait dû n'exiger qu'une demi-heure, parce qu'il fallut attendre le chariot et les hommes préposés à l'enlèvement des escarbilles, dont l'heure de tournée n'était pas arrivée. Ce ne fut qu'à $3^h,15$ du soir que l'on put faire la nouvelle charge d'acier.

Cette charge se composait de 300 kil. d'acier puddlé provenant de fonte d'Ivoy ébauché, coupé en petits morceaux à la cisaille, et de 200 kil. de limes cassées à la main et dérouillées autant que possible, en tout 500 kil. Ces aciers avaient été chargés dans les cornues avec environ le tiers de leur volume de poussier de charbon de bois, à 6 heures du matin, après que l'on eut enlevé de ces cornues la première charge.

Le chargement des 500 kil. d'acier s'opéra d'une seule fois dans le laitier de l'opération précédente, qui suffit pour couvrir complétement le métal. Une partie du poussier fut chargée avec l'acier et surnagea sur le bain, comme d'or-

dinaire. Aussitôt le chargement terminé, on donna le vent dans toute son intensité. A 4 heures, on arrêta le vent pendant quelques minutes pour charger les fonds de poche et jets de la fusion précédente, préalablement cassés à la masse. Le vent fut remis immédiatement. La fusion s'opéra régulièrement, et elle était complète à 8 heures du soir. On maintint l'acier liquide pendant une heure, pour le rendre bien homogène. A 9 heures, on fit la coulée de la même manière que pour la fusion précédente. La percée fut mieux faite, et le jet d'acier parfaitement régulier coula rapidement dans la poche. Dès que le laitier commença à se montrer, le bouchage fut fait du premier coup et sans la moindre difficulté. On leva de suite la quenouille, et l'acier tomba en jet continu dans la grande lingotière cylindro-conique placée sous la poche. Malheureusement, dans ce mouvement, la poche qui était restée suspendue à la grue et que l'on n'avait pu fixer aussi solidement qu'on l'aurait voulu fit un petit écart latéral. Le trou du fond cessa d'être concentrique à l'orifice de la lingotière, et le jet toucha la paroi du goulot. Il en résulta une paille à la partie supérieure du lingot correspondant à ce goulot. Mais cette paille ne se prolongea pas dans la partie inférieure du lingot, correspondant à la panse cylindro-conique de la lingotière, et formant la masse principale. Nous décrirons plus loin les particularités de ce lingot et du précédent.

On s'apprêtait à faire un chargement d'acier, et l'on ouvrit les portes du cendrier pour nettoyer la grille; mais alors on aperçut une masse considérable de laitier tombée dans le cendrier et coagulée en plaque épaisse au milieu des escarbilles. Ce laitier s'était écoulé à travers l'autel par une petite ouverture, de $0^m,02$ à $0^m,03$, qui s'était formée dans un joint, à un niveau sensiblement supérieur à celui de l'acier. Aucune portion de métal ne s'était échappée avec ce laitier, dont l'écoulement devait avoir eu lieu 3/4 d'heure ou 1 heure avant de procéder à la percée. Ainsi

se trouvèrent réalisées les craintes que M. Sainte-Claire Deville avait exprimées le matin même sur la trop faible épaisseur de l'autel. Le retour de cet accident est désormais impossible avec les autels à courant d'air que nous avons fait construire et expérimentés à la fusion suivante. Si, par extraordinaire, un autel ainsi construit venait à se percer, on s'en apercevrait immédiatement et l'on pourrait remédier au mal en bouchant le canal intérieur de l'autel avec du sable fortement tassé.

Nous aurions pu, à la rigueur, faire boucher le trou de l'autel du côté de la sole avec des tampons de terre réfractaire. Mais outre que le succès, bien que probable, n'était pas certain, notre personnel spécial, debout depuis la veille, était très-fatigué. Nous désirions, d'ailleurs, avant de consommer de nouvelles matières, constater la qualité des lingots fondus. Nous fîmes donc repercer le trou de coulée pour vider le four, et on laissa tomber le feu, après avoir décrassé la chauffe.

Pendant la coulée, on avait de nouveau recueilli dans une petite poche 15 à 20 kil. d'acier qui furent en majeure partie coulés dans une petite lingotière. L'acier ayant reflué autour du bouchon de fer lorsqu'on enfonça celui-ci, le lingot serré entre ce bouchon et les parois de la lingotière ne put retraiter et se cassa en trois endroits par l'effet de la contraction. On verra plus loin comment il se comporta à l'étirage.

Le four fut examiné lorsque la température fut suffisamment abaissée pour que l'on pût voir à l'intérieur. Les parois verticales étaient bien conservées, sauf un peu d'élargissement des joints. Le petit autel avait été arrondi aux arêtes, mais avait conservé son niveau. Le grand autel était plus attaqué, sans présenter cependant aucune échancrure notable. La partie qui avait le plus souffert était la voûte, dont les briques s'étaient fortement attaquées aux joints. Par suite de la corrosion de ces joints, l'extrémité

de chaque brique formait une pyramide quadrangulaire dont la pointe se terminait en stalactite ou chandelle. La voûte paraissait rongée de $0^m,03$ à $0^m,04$ du côté du petit autel, de $0^m,05$ à $0^m,06$ au-dessus du grand autel jusqu'un peu au delà du trou de coulée. En outre, on voyait çà et là quelques vides formés par des briques qui s'étaient fendues et dont les extrémités avaient dû tomber dans le laitier. Enfin, les orifices intérieurs des trous percés pour sonder s'étaient fortement élargis, et beaucoup de morceaux de briques étaient tombés à l'entour, résultat qu'expliquent suffisamment les fentes déterminées dans les briques par le percement de ces trous à coups de masse pendant la marche du four, et l'action du dard de flamme qui sortait par ces orifices, toujours incomplétement bouchés. En détachant quelques chandelles de la voûte et les examinant après refroidissement, nous reconnûmes à leur couleur et au vernis jaune et noir dont elles étaient revêtues, surtout du côté regardant la grille, que la fusion de la voûte était surtout produite par les cendres de la houille, très-chargées d'oxyde de fer, emportées par le courant d'air. De là résultent ces conclusions : 1° qu'il faut, autant que possible, éviter dans la construction de la voûte la multiplicité des joints, qui sont une cause de rapide destruction, et employer par conséquent un petit nombre de voussoirs de grande dimension ; 2° qu'il convient de supprimer les trous pratiqués dans la voûte pour le sondage du bain, et se borner à sonder par les portes ; 3° qu'on doit employer des houilles aussi pures, et surtout aussi peu pyriteuses que possible, l'altération du four étant due surtout à l'oxyde de fer provenant de l'oxydation de la pyrite.

Voici les consommations et les produits des deux fusions :

		kil.	kil.
1re Fusion.	Acier chargé.	600	
	Gros lingot obtenu		378
	Petit lingot d'essai.		12
2e Fusion.	Acier chargé	500	
	Lingot obtenu.		548
	Petit lingot d'essai.		9
	Fond de poche.		25
	Acier trouvé ultérieurement sur la sole.		73
	Total des charges et des produits	1,100	1,045

Le déchet paraît donc être de 55 kil. sur 1,100 kil., soit 5 p. 100. Mais il a été en réalité un peu plus considérable, parce qu'il faut réunir à ces deux opérations la fusion précédente, dont le reliquat était resté sur la sole.

En effectuant le calcul, on trouve les résultats suivants:

	kil.
Acier chargé dans les trois opérations.	1,700
Lingots, fond de poche et reste sur la sole	1,588
Différence	112

Soit un déchet de 6,58 p. 100 de l'acier chargé.

Sur ce déchet, nous croyons que près de 2 p. 100 se retrouveraient dans les laitiers, en les soumettant au bocardage, de sorte que le déchet réel serait inférieur à 5 p. 100. Ce déchet est dû en presque totalité à la rouille dont les limes étaient en majeure partie couvertes, et aux scories que renferme l'acier puddlé simplement ébauché. Nous ne pensons pas qu'il ait pu se brûler pendant le chargement et la fusion une quantité sensible d'acier. En effet, on a soin, pendant le chargement, de n'avoir point de flamme oxydante dans le four, et l'acier tombant dans le laitier incandescent, est immédiatement protégé par lui. C'est à peine si quelques morceaux restent pendant un petit nombre de minutes exposés à la flamme, au-dessus du niveau du bain. On les y enfonce promptement, et d'ailleurs le laitier les mouille et s'élève sur leur surface supérieure, par une sorte d'attraction capillaire, de manière à les défendre contre l'oxydation jusqu'au moment

où ils s'affaissent au-dessous du niveau du bain. La présence du poussier de charbon ajoute encore à cet effet préservateur.

Le laitier qui a servi à ces deux fusions a considérablement augmenté de volume, par suite de la fusion superficielle de la voûte. Une partie de ce laitier ayant débordé par-dessus le petit autel pendant un chargement, s'écoula par le trou de chio, augmenté des matières provenant de la fusion superficielle des briques du rampant et de la voûte du four à cornues. L'autre fut recueillie partie dans le cendrier, partie dans une poche au moment où l'on avait vidé le four par le trou de coulée. Ces laitiers ne se divitrifièrent pas par le refroidissement, comme ceux de l'opération précédente. Ils devinrent seulement opaques et laiteux, et prirent une belle couleur bleue et verte, offrant des zones alternativement claires et foncées, qui leur donne une certaine ressemblance avec le lapis lazuli et la malachite. Nous n'avons pu découvrir les causes de cette coloration, tout à fait différente de celle que produit l'oxyde de fer. Elle doit provenir de quelque substance contenue dans les briques.

Le combustible consommé pendant ces opérations a été, d'après les notes prises :

	kil.
Pour échauffer le four, du 21 janvier, à onze heures du matin, au 22, à une heure du matin, pendant 14 heures	2,805
Pendant la fusion du laitier et celle de la première charge d'acier, qui ont duré 12h 15″	2,850
Pendant la 2e fusion, qui a duré 5h 45″	2,365

Nous soupçonnons ces deux derniers chiffres d'être entachés d'une forte erreur en trop, car les notes prises au four n'accusaient pour le premier que 2,150 kil. et pour le second 1,780 kil., chiffres qui concordent avec la consommation ordinaire du four. Les nombres plus considérables indiqués ci-dessus ont été fournis par le livre du chantier

d'expédition, où il a pu être commis un double emploi. Dans l'hypothèse la plus défavorable, on trouve, en défalquant sur la première fusion le combustible correspondant aux $3^h 1/2$ qu'a employées la fusion du laitier, sur le pied de 250 kil. par heure, à cause de l'absence de vent, on trouve qu'il a été consommé pour fondre 1,100 kil. d'acier, 4,363 kil. de houille, soit près de quatre parties pour une. Ce chiffre, en discordance complète avec les précédents, ne nous inspire aucune confiance. S'il était réel, il indiquerait de la part du chauffeur une marche beaucoup trop précipitée, un soufflage trop violent sous la grille qui, au lieu d'élever la température dans le four, l'aurait plutôt abaissée par l'excès d'air froid mêlé au courant gazeux, et en reportant le point de combustion maximum au delà de la sole, dans le four à cornues. Nous croyons qu'il s'est passé un fait de cette nature, mais sans que la consommation de combustible ait été accrue par là dans la proportion accusée par les chiffres douteux qui nous ont été fournis par le chantier d'expédition des houilles.

§ V. — *Essais de forgeage des lingots provenant des trois fusions précédentes.*

Le lingot provenant de la deuxième fusion, coulé dans un bain de laitier et rugueux à la surface, a été l'objet d'une tentative d'étirage, le 22 janvier, en présence de MM. Treuille de Beaulieu, Caron et Sainte-Claire-Deville. Ce lingot pesait 464 kil. et présentait une densité de 7,544. A raison de sa forme cylindrique, on avait disposé au pilon n° 5, destiné à l'étirage, une étampe et une panne à concavité cylindrique, d'un rayon légèrement supérieur à celui du lingot. Celui-ci fut réchauffé dans un four à souder le fer, placé près du pilon, conduit de manière à ne pas donner une température supérieure au rouge cerise. Le lingot fut plusieurs fois tourné sur lui-même dans le four,

pour amener toutes ses parties à la même chaleur. On avait disposé une tenaille convenable pour le saisir par la partie cylindrique supérieure, correspondante au goulot de la lingotière. Placé dans le four à midi, il avait atteint une température suffisante à une heure et demie. A deux heures moins un quart, on le retira du four, et le forgeage fut commencé.

L'opération du forgeage marcha d'abord régulièrement. Le pilon, dont la levée était réduite à 0m,30 ou 0m,40, donnait environ 70 coups par minute. Cette vitesse très-faible avec une petite levée rendait le serrage fort lent, bien que l'on tournât fréquemment le lingot sur l'étampe, en le faisant avancer et reculer pour égaliser le serrage sur toute la longueur. Cependant, les rugosités du lingot s'effaçaient, la surface devenait lisse, et la pièce s'allongeait sensiblement. Après vingt minutes de forgeage, le lingot étant trop refroidi, il fallut le réchauffer. Ce réchauffage exigea une demi-heure, et le forgeage fut repris dans les mêmes conditions, en donnant seulement un peu plus de levée au pilon. On procéda à un troisième réchauffage, et le lingot fut soumis une troisième fois à l'action du pilon. Croyant le lingot suffisamment serré et impatientés de la lenteur de l'opération, les ouvriers donnèrent plus de levée et firent marcher le marteau presque à toute volée. Mais alors un coup donné en porte à faux fit gercer le lingot en travers, à 0m,13 de la grosse extrémité; nous fîmes arrêter le forgeage, de crainte que la rupture ne devînt complète. Le lingot s'était allongé de 0m,085.

Nous ne pouvons décider si cet accident provient de trop de précipitation dans le forgeage, de l'imperfection du pilon, de l'inhabileté des ouvriers, ou bien s'il est dû à la mauvaise qualité soit naturelle, soit acquise de l'acier. Cette question est d'autant plus délicate à résoudre que, d'après l'expérience acquise dans les aciéries, il est très-difficile d'étirer sans quelque gerce ou crique les lingots de forte

dimension. MM. Fis et Sabatier affirmaient en outre que cette difficulté était encore beaucoup aggravée par la forme ronde de nos lingots, et que le succès de l'étirage serait bien mieux assuré avec une section carrée à angles abattus, sauf à passer à la forme ronde à la fin du forgeage. Cependant nous inclinons à croire que ce lingot participe du vice propre aux aciers de limes refondues, que nous avons appris ultérieurement être presque toujours rendus inforgeables par la présence d'une quantité infiniment faible de cuivre ou d'étain. Peut-être pourra-t-on continuer l'étirage de ce lingot, et enlever la gerçure à chaud avec des tranches, si elle n'est que superficielle, ainsi que cela se pratique presque toujours dans les aciéries. L'imperfection de l'appareil de chauffage et du pilon, la gêne qui résultait pour l'usine de la privation de cet outil toujours employé d'ordinaire, ne nous permirent pas de reprendre ce forgeage.

Les mêmes raisons nous empêchèrent d'étirer les lingots des 3e et 4e fusions. De ces deux lingots, le premier était parfaitement sain. Seulement, comme l'acier n'avait pas dépassé la partie conique de la lingotière, ce lingot était plus difficile à saisir pour le forgeage. Le dernier lingot avait au contraire un appendice ou goulot long de $0^m,30$, qui aurait beaucoup facilité la manœuvre. Mais nous nous aperçûmes que le corps inférieur du lingot avait deux gerçures longitudinales, dont la direction générale passait par un plan diamétral perpendiculaire au plan de jonction des deux moitiés de la lingotière. Ces gerçures pouvaient provenir soit de ce que le lingot avait été retenu dans son retrait par les deux bavures qui s'étaient formées à la jonction des deux moitiés de la lingotière, soit de ce que le métal contenu dans le goulot de la lingotière exerçant une forte pression sur les couches intérieures du corps du lingot, ne leur a pas permis de céder au retrait des couches extérieures, lors de la solidification de celles-ci. MM. Sabatier et Fis assuraient en outre que la forme ronde du lingot était

pour beaucoup dans cette gerçure, et qu'un semblable accident n'arrive jamais aux lingots de forme carrée avec angles abattus. On se rappelle que le goulot du même lingot avait été touché pendant la coulée, par suite du déplacement de la poche. Cette partie, non gercée, portait donc une paille longitudinale intérieure qui ne devait pas permettre d'en obtenir une belle barre.

Nous avons dit que la densité du lingot de la 2ᵉ fusion, coulée au milieu du laitier, et soumis à un essai de forgeage, avait été trouvée de. 7,544

Celle du lingot de la 3ᵉ fusion pesé de même dans l'air et dans l'eau fut trouvée de. 7,340

Et celle du lingot de la 4ᵉ fusion de. 7,405

Ne pouvant forger les gros lingots, nous fîmes étirer les petits lingots d'essai que nous avions fait prendre pendant les coulées nº 3 et nº4. Le premier, pesant 12 kil. était parfaitement sain. On en commença l'étirage sous un petit pilon de 400 kil. destiné à étamper des fers de chevaux et aussi mal disposé que les autres pour le travail de l'acier. Le lingot s'étira d'abord assez bien; mais il s'y forma ensuite une crique sur une face, crique qui parut occasionnée par la forme désavantageuse du marteau, dont la panne débordait l'enclume. Nous voulûmes alors faire terminer l'étirage au laminoir; mais le lingot se brisa dans cette opération, et s'ouvrit en plusieurs points sur les arêtes. Mis à l'eau encore rouge, il acheva de se rompre à quelques gerçures et fit entendre de forts craquements. L'examen des cassures fit reconnaître que cet acier s'était *rosé*, expression par laquelle les ouvriers désignent une espèce de cristallisation rayonnée que prennent à la trempe certains aciers trop vifs ou provenant de minerais cuivreux. Bien qu'une grande partie des accidents arrivés à ce lingot soit imputable à l'imperfection des instruments de compression, néanmoins notre opinion personnelle est que l'acier, pro-

venant exclusivement de limes refondues, présentait une mauvaise qualité intrinsèque due, non au mode de fusion, mais à la cause que nous avons déjà signalée, et qui nous était encore inconnue. L'essai de forgeage de ce petit lingot eut lieu devant MM. le colonel Treuille de Beaulieu, le capitaine Caron et Sainte-Claire Deville. Il en avait été de même du forgeage du gros lingot n° 2. Ces messieurs, parmi lesquels M. le capitaine Caron surtout avait une grande connaissance du travail de l'acier, reconnurent qu'avec les moyens imparfaits dont nous disposions, il était impossible d'étirer convenablement des lingots, et que des aciers de la meilleure qualité pourraient tomber en morceaux sous des pilons et des laminoirs où rien n'était convenablement agencé pour ce genre de travail.

Nous fîmes plus tard marteler au pilon de 3.000 kil. le petit lingot d'essai provenant de la 4e fusion. Bien que ce lingot eût été cassé par le retrait dans la lingotière, comme nous l'avons indiqué précédemment, il se laissa forger beaucoup mieux que le précédent, et l'on put en étirer une barre sans criques ni pailles. Un fragment du lingot fut en outre passé au laminoir et résista bien à cette opération. Les barres offrirent à la cassure un très-beau grain. Il fut évident pour nous que cet acier provenant d'un mélange de moitié limes et moitié acier puddlé était beaucoup meilleur à chaud et plus facilement forgeable que celui de la fusion n° 3, provenant de limes seules ; qu'ainsi, comme nous l'avions soupçonné, et comme cela nous fut confirmé et expliqué par la suite, la nature rouveraine de l'acier des fusions nos 2 et 3 tenait à la matière employée. C'est un point sur lequel les résultats subséquents, obtenus avec de l'acier puddlé seul, ne laissent plus aucun doute.

Nous fîmes casser la partie cylindrique supérieure ou goulot du gros lingot n° 4 correspondant au précédent essai. La cassure présenta un grain bleuâtre, régulier, paraissant dénoter un acier assez doux. Elle offrait en outre

un certain nombre de bulles, pas plus cependant que les lingots fondus au creuset. C'est du reste au sommet de la partie conique du lingot, lieu où la cassure fut opérée, que les bulles avaient dû s'accumuler de préférence. Le fragment cylindrique pesant environ 60 kil. fut buriné le mieux possible et forgé sous le pilon n° 5, de 3.000 kil. Il résista bien au forgeage quoique tourmenté et écrasé, plutôt qu'étiré, par suite de la forme vicieuse de l'enclume et de la panne, et on en fit une grosse barre carrée avec angles abattus, de $0^{m},10$ de côté. Cette barre cassée au pilon offrit un grain régulier, mais un peu plat et sans arrachements. De plus, elle était traversée longitudinalement par une grande paille provenant de ce que cette partie du lingot avait, comme nous l'avons dit, été touchée à la coulée.

Bien que l'acier de cette fusion n° 4 se fût convenablement étiré sous le pilon, et qu'il présentât une grande résistance à froid, néanmoins sa qualité à chaud laissait à désirer. En effet, des morceaux de la barre provenant du petit lingot d'essai furent envoyés au dépôt de l'artillerie et soumis à diverses épreuves. On constata que cet acier s'étirait difficilement en petits échantillons, et qu'il criquait et se brisait quand on le tourmentait sur la bigorne de l'enclume avec la panne ronde du marteau. La nature rouveraine de cet acier provenait des limes, dont le vice intrinsèque a pu être atténué, mais non complétement effacé, par le mélange d'une partie égale d'acier puddlé.

Pour terminer l'étude des lingots de ces fusions, nous indiquerons le retrait qu'ils ont pris par la solidification et le refroidissement. La lingotière avait à froid un diamètre de $0^{m},359$, qui devenait au moins $0^{m},360$ lorsqu'elle était chauffée pour la coulée. Le lingot n° 3 a présenté froid un diamètre de $0^{m},352$, et le lingot n° 4 $0^{m},353$. Mais ce dernier avait éprouvé une gerçure longitudinale, et il est probable que le retrait aurait été le même qu'au lingot n° 3,

sans cet accident. On peut donc évaluer le retrait des lingots à 0,0195 des dimensions de la lingotière froide, soit 0,02 pour la facilité du calcul.

§ VI. — *Modifications au four de fusion et préparatifs pour la nouvelle mise au feu.*

On a vu plus haut que l'on avait dû mettre hors feu le four à réverbère de fusion, par suite d'une perforation du grand autel, à travers laquelle le laitier avait coulé. Pour prévenir le retour de pareils accidents, nous avions résolu de faire construire des autels à courant d'air. Cette disposition fut réalisée. Voici les dimensions adoptées pour ces autels.

Le grand autel devait être formé de deux murs verticaux de $0^m,18$ d'épaisseur, séparés par un canal vide de $0^m,12$ de largeur, et recouverts par des briques simplement posées à plat, de $0^m,07$ d'épaisseur. Ce canal vide devait avoir une hauteur de $0^m,20$ et descendre ainsi plus bas que le fond de la sole.

Le petit autel devait être composé de deux murs verticaux de $0^m,15$ d'épaisseur, séparés par un canal vide de $0^m,10$ seulement de largeur sur $0^m,15$ de hauteur. Ces deux murs devaient être recouverts par des briques posées de champ. L'accroissement d'épaisseur du petit autel pouvait être facilement pris sur le chio, la distance de l'extrémité de la sole à la première cornue étant assez considérable. Quant à l'augmentation du grand autel, nous la fîmes porter du côté de la grille, de manière à conserver la même sole. Mais, ne voulant pas réduire la surface de grille, nous fîmes prolonger les deux murs latéraux de la chauffe d'une quantité égale à l'épaississement de l'autel, et reporter en arrière de la même quantité les sommiers de la grille, le mur transversal et les portes de fonte fermant la chauffe. La disposition du tuyau porte-vent permettait d'effec-

tuer ces changements sans modifier l'introduction de l'air forcé.

La voûte devait nécessairement être changée, du moins aux deux extrémités, par suite de l'élargissement des autels. Elle avait été rongée principalement au-dessus du grand autel, jusqu'un peu au delà du trou de coulée. Les briques avaient perdu en ce point environ $0^m,05$. Les environs des trous percés dans la voûte pour sonder avaient aussi beaucoup souffert, moins par l'action de la flamme que par suite de l'éclatement des briques pendant le percement de ces trous opéré au fleuret, le four étant en marche. Ces considérations nous déterminèrent à faire reconstruire la voûte entièrement, avec quelques modifications dans son profil. Nous portâmes sa hauteur au-dessus du grand autel à $0^m,30$, et la fîmes s'abaisser doucement jusqu'à $0^m,35$ au delà du trou de coulée; là elle ne devait plus avoir que $0^m,22$ au-dessus des bords de la sole. Cette disposition avait pour objet de donner plus d'expansion à la flamme et d'assurer la conservation de la nouvelle voûte au point où l'ancienne avait été le plus attaquée.

Quant à la sole, comme elle avait donné de bons résultats, nous désirions la conserver. Ordre fut donc donné au maçon de la respecter et de se borner à reconstruire la voûte et les deux autels d'après les nouveaux profils. Malheureusement, ces instructions ne furent pas suivies. En notre absence, le maître maçon s'aperçut, après l'enlèvement de la voûte, que les débris de celle-ci tombés sur la sole à l'état pâteux s'y étaient soudés intimement, et formaient des bosses et des rugosités qui auraient empêché l'écoulement du métal. Pour remédier à cet inconvénient, il aurait suffi de faire sauter cette croûte avec un marteau d'acier à panne tranchante, comme on pique une meule de moulin. La sole ainsi nettoyée n'aurait présenté que plus de solidité, car ses joints devaient être parfaite-

ment remplis et soudés par la pâte de briques tombée de la voûte. Mais cette pensée ne vint pas à l'esprit du maître maçon, et il crut bien faire de démolir la sole et de la reconstruire à neuf, pensant que, puisqu'il avait bien réussi la première fois, il ne serait pas moins heureux la seconde. L'événement ne devait pas répondre à cette espérance, comme on le verra plus loin. Néanmoins, la démolition de la vieille sole permit de constater que les briques qui la composaient étaient parfaitement intactes et n'avaient été corrodées ni par l'acier ni par le laitier ; que l'acier ne s'était infiltré que dans un petit nombre de joints, et à une faible profondeur ; qu'il n'était pas resté sur la sole un seul morceau d'acier qui ne fût parfaitement fondu. Tout celui qu'on y trouva, en effet, était en plaques minces et horizontales, et n'avait été retenu que par les morceaux de briques tombés de la voûte, qui étaient venus se souder sur le fond lorsque, par l'écoulement de l'acier, ils avaient cessé de nager sur le bain métallique. La conclusion à tirer de ces faits, c'est que la matière des briques, quoique n'étant pas de la plus haute qualité, était néanmoins suffisamment réfractaire pour résister au contact de l'acier en fusion et du laitier, et qu'une sole faite de cette matière, mais d'un seul morceau ou d'un petit nombre de pièces, serait susceptible d'une très-longue durée. Ce résultat n'a rien que de naturel, quand on considère que l'acier fondu n'a aucune action sur l'intérieur des creusets, qui périssent presque toujours par l'extérieur, et que le verre employé comme laitier en a si peu, que les pots de verrerie résistent en moyenne quatre mois à une température peu inférieure à celle de la fusion de l'acier.

La sole fut donc reconstruite à neuf, dans les mêmes conditions que précédemment. Les autels à air et la voûte furent refaits suivant les dimensions indiquées ci-dessus (*fig.* 1 et 2).

Nous résolûmes de renoncer aux aciers de limes pour

la prochaine mise en feu, et d'aborder la fusion des aciers puddlés purs. Mais avant de tenter cette opération, nous voulûmes faire au creuset quelques nouvelles expériences pour reconnaître le degré de fusibilité et la qualité de ces aciers. Nous comptions, pour faire ces essais, sur un certain nombre de creusets choisis avec soin et qui étaient restés pendant un mois dans une étuve spéciale, afin d'en chasser les dernières traces d'humidité.

§ VII. — 2° *Série d'essais au creuset.*

Le 26 janvier, on chargea dans quatre creusets préalablement chauffés au blanc :

N° 1. Acier puddlé de fonte d'Ivoy, premier choix, 20 kil., avec 400 grammes de charbon de bois.

N° 2. Même charge que le n° 1.

		kil.	kil.
N° 3.	Acier puddlé d'Ivoy	15 ou 3/4	20
	Vieilles limes propres.	5 ou 1/4	

avec 200 grammes de charbon de bois.

N° 4. Même charge que le n° 3.

La fusion s'opéra facilement en $3^h,30$, ce qui s'explique par la carburation des aciers d'Ivoy employés, choisis parmi les mieux réussis, et par l'addition du charbon de bois.

Le n° 1 fut coulé en lingotière, de la façon ordinaire.

Le n° 2 fut coulé dans un moule en sable d'étuve séché.

Le n° 3 fut coulé en lingotière sans accident.

Le n° 4 fut coulé dans un moule en sable d'étuve séché.

Au démoulage, on reconnut que le sable d'étuve, non suffisamment réfractaire, s'était vitrifié et collé à la surface des lingots n° 2 et n° 4. Cette croûte parut presque impossible à enlever, et l'on prévit qu'elle serait très-nuisible à l'élaboration de ces lingots. La vitrification du sable n'est qu'un accident facile à éviter en se procurant des sables plus réfractaires.

On fit une seconde fusion dans les mêmes creusets, qui

furent chargés de 22 kil. d'acier puddlé d'Ivoy, avec 550 grammes de charbon de bois. La fusion s'opéra régulièrement dans 3 heures. On coula en lingotière, et l'on obtint trois lingots bien réussis. Le quatrième creuset avait été chargé d'acier à outils pour les besoins de l'usine, lequel fut coulé également en lingotière.

On procéda à une troisième fusion dans les mêmes creusets, en composant les charges de 22 kil. d'acier puddlé d'Ivoy et 300 grammes de charbon de bois seulement. La fusion s'opéra en 3h,15; mais on reconnut que les creusets s'étaient fêlés par le haut et que l'acier commençait à s'écouler par les fentes. On versa le contenu d'un creuset dans un autre, et le tout fut coulé en lingotière. Les deux autres creusets furent versés l'un dans l'autre, et on laissa l'acier se figer dans le dernier.

La densité des divers lingots provenant de ces fusions a été trouvée ainsi qu'il suit, par des pesées faites à l'air et dans l'eau :

1re Fusion.	Lingot n° 1. Coulé en lingotière . . .	D = 7,474
—	Lingot n° 3. — . . .	7,454
—	Lingot n° 2. Coulé en sable.	7,146
—	Lingot n° 4. Coulé debout en sable. .	7,023
3e Fusion.	Culot resté dans un creuset.	7,442

En comparant ces densités à celles des lingots coulés au four à réverbère, on reconnaît que ce dernier mode de fusion a donné des résultats aussi avantageux quant à la compacité des lingots; que la plus grande densité obtenue a été celle du lingot coulé dans le laitier, à la deuxième fusion, et qui pesait 7,544.

La moindre densité des lingots coulés en sable doit être attribuée en majeure partie à la croûte vitreuse qui les recouvrait, car ces lingots ayant été cassés, ne montrèrent pas plus de bulles que les autres.

La densité du culot resté dans un creuset, de 7,442, prouve que, contrairement à une opinion répandue dans

les aciéries, l'acier resté ou coulé dans un moule de terre incandescent n'est pas plus bulleux que celui qui a été coulé en lingotière. La surface en est seulement moins unie, et présente quelques bulles s'ouvrant au dehors.

Les lingots provenant de la première fusion ont été laminés en barres plates de 0m,075 de largeur sur 0m,010 d'épaisseur, à angles vifs, faute de cylindres spéciaux pour leur donner la forme des aciers à ressorts. Les nos 1 et 3 coulés en lingotières, se sont étirés parfaitement, sans gerçure ni crique, malgré la trop grande vitesse du laminoir et la forme anguleuse des cannelures. Les lingots nos 2 et 4, coulés en sable, quoique chauffés à la même température que les précédents et traités de même, ont fortement criqué. La partie supérieure du lingot n° 4 s'est même détachée en ébauchant. Pour nous assurer des causes de cet accident, nous fîmes soigneusement buriner et nettoyer la surface d'une partie du lingot n° 2. Tout le sable vitrifié fut enlevé à la lime, et l'on obtint une surface métallique très-nette. Nous fîmes alors chauffer ce lingot au rouge vif et marteler sous le pilon n° 5 en une barre de 0m,02 de côté (carré). Il s'étira sans pailles ni criques, et l'acier, essayé à la petite forge, résista à toutes les épreuves, notamment au perçage à chaud. Sa qualité n'avait donc pas été altérée par le coulage dans un moule en sable. Les criques survenues au laminage ne doivent être attribuées qu'à un effet mécanique produit par le sable resté adhérent aux surfaces. Enfin, la rupture du lingot n° 4 provient très-probablement de ce que ce lingot contenait encore un quart d'acier de limes, parmi lesquelles il suffit qu'il s'en soit trouvé une renfermant des traces de cuivre ou d'étain. Le lingot n° 3, qui s'est bien étiré quoique renfermant la même proportion d'acier de limes, ne doit être considéré que comme une heureuse exception.

Le 2 février, on ralluma le four d'essai, et l'on y fondit dans trois creusets 70 kil. d'acier puddlé de fonte Ivoy,

sans aucune addition. Cet acier, qui avait été étiré en barres ébauchées, offrait un grain fin, et paraissait suffisamment carburé. La fusion s'opéra régulièrement en 4^h,15. On obtint trois lingots réguliers, coulés dans des lingotières simples. Deux des lingotières ayant été trop remplies, on perdit un peu d'acier, et les lingots arrêtés dans leur retrait se gercèrent en travers à quelques centimètres du haut.

Un des lingots fut étiré au pilon. Il se comporta fort bien et donna une barre offrant un beau grain d'acier doux, qui résista aux épreuves de la petite forge. On put en souder un morceau sur lui-même, sans employer de borax.

Ces essais nous encouragèrent à tenter la fusion au four à réverbère des aciers puddlés qui avaient été préparés pour cet objet. Malheureusement, la masse de ces aciers était beaucoup moins bien réussie comme fabrication que les barres d'échantillon qui avaient été fondues au creuset. On avait préparé deux lots d'acier, de 4.000 kil. chacun environ. L'un avait été fabriqué avec des fontes d'Ivoy (Berri), l'autre avec des fontes d'Ystalifera (pays de Galles), produites à l'anthracite. C'est à peine si, sur chacun de ces deux lots, on trouva 2 ou 300 kil. d'acier méritant ce nom, outre celui qui avait été déjà prélevé pour la fusion au creuset. On fit en outre deux lots de seconde qualité, de 7 à 800 kil. chacun, comprenant des barres formées d'un mélange d'acier et de fer à grain, en zones distinctes. Tout le reste ne se composait que de fer à grains un peu aciéreux, contenant même çà et là des traces de nerf. MM. Sabatier et Fis s'accordèrent à déclarer que ces aciers, y compris ceux des deux premiers lots, ne leur paraissaient pas susceptibles d'être fondus en marche régulière et industrielle, même avec les meilleurs creusets, sans addition de matières plus carburées. Nous ne disposions pas de matières de cette nature, sauf les vieilles limes, auxquelles nous ne voulions plus recourir, à cause de la mauvaise qualité

des produits. Quant à la fonte non mazée, dont l'emploi nous était proposé par M. Sabatier, nous la rejetâmes, sachant par expérience que les mélanges de fer et de fonte ne donnent que des aciers aigres et cassants, à moins que la fonte n'ait été préalablement soumise à un mazéage très-avancé.

Il n'y aurait eu qu'un moyen de carburer davantage nos aciers, sans y ajouter de substances nuisibles : ç'aurait été d'y ajouter du charbon en poudre, comme nous l'avions fait dans les creusets. Mais, d'une part, nous avions remarqué que l'addition de charbon dans ces creusets n'avait donné qu'un acier guère plus carburé que celui qui avait été fondu seul ; d'un autre côté, il n'était pas possible de mettre le charbon à même avec l'acier dans le bain de laitier, parce que le charbon aurait immédiatement surnagé, sans exercer aucune action sur l'acier tombé au fond du bain.

En présence de toutes ces difficultés, nous nous décidâmes à essayer de fondre l'acier puddlé dont nous disposions, tel quel et sans addition. Nous ne nous dissimulions pas les chances de mauvais succès que nous courions, mais aussi nous considérions que, si nous parvenions à fondre une pareille substance, nous aurions résolu un problème si difficile, que la fusion du fer à grain serait désormais abordable par notre procédé.

Avant de commencer le récit de ces essais de fusion en grand, nous ferons remarquer que si l'acier puddlé mis à notre disposition n'était pas bien réussi, cela ne tenait ni à la nature des fontes employées, ni même à l'inhabileté des puddleurs, déshabitués depuis longtemps de ce genre de travail. Cela provenait de la disposition des fours à puddler, qui aboutissent à des cheminées communes, et sont dépourvus de clapets fermant hermétiquement. Pour bien fabriquer l'acier puddlé, il faut pouvoir complétement arrêter le courant d'air dans le four pendant que l'acier prend na-

ture, et surtout lorsque l'on forme les balles. Sans une clôture hermétique du clapet, l'acier se décarbure sous l'influence du courant d'air, et une partie des balles se transforme en fer. Dans les usines où l'on a des fours spécialement disposés pour la fabrication de l'acier puddlé, cet inconvénient est complétement évité, et les puddleurs fabriquent régulièrement de l'acier au degré de carburation convenable.

§ VIII. — 3e *Série d'essais de fusion au four à réverbère.*

La voûte du four avait été reconstruite à neuf, d'après les dimensions que nous avons indiquées précédemment; elle était plus élevée que l'ancienne d'environ 0m,10 au-dessus du grand autel et du trou de coulée. Deux autels à courant d'air avaient remplacé les autels pleins. La sole avait la même surface et les mêmes profils que la précédente; elle était refaite à neuf en briques posées de champ. Les anciennes portes du four fermées par des obturateurs en briques frettés de fer avaient été remplacées par des portes à coulisse en fonte, garnies intérieurement de briques réfractaires et semblables à celles des fours à puddler et à réchauffer. Pour éviter les projections et crachements du jet d'acier au moment de la percée, on avait adapté au trou de coulée une gouttière de fer, garnie intérieurement d'un mélange d'argile et de poussier de charbon de bois.

Désirant obtenir des lingots maniables et faciles à forger ou laminer, nous avions fait couler deux lingotières de section carrée avec angles abattus, pouvant contenir chacune 200 à 225 kil. d'acier, et quatre lingotières de même forme, mais plus petites, et pouvant contenir chacune 100 kil. d'acier environ. Les dimensions de ces lingotières étaient les suivantes :

		m.
Lingotières de 200 kil.	Hauteur	1,15
	Côté du carré de la section. . .	0,17
Lingotières de 100 kil.	Hauteur	0,85
	Côté du carré de la section . . .	0,15

Le biseau sur les angles avait 0^m,020 de largeur.

Le four fut allumé le 4 février, à dix heures du soir, et chauffé à feu très-doux jusqu'au 5 à midi, pour ne pas faire éclater les briques, en élevant trop brusquement la température. A partir du 5 à midi, on poussa le feu progressivement, jusqu'au 6 à quatre heures du matin, moment où le four était blanc éblouissant depuis plusieurs heures. Néanmoins, on avait chauffé à tirage naturel sans donner de vent. Ce fut probablement une faute, parce que la température ne fut pas portée à un point suffisant pour ramollir les briques de la sole et les souder entre elles, au moins superficiellement.

A quatre heures et demie (6 février), on chargea dans le four 400 kil. environ de laitier provenant des hauts fourneaux de Couvin (Belgique), en morceaux choisis. Ce laitier, bien vitrifié, d'un vert clair transparent, paraît très-pur et offre tous les caractères d'un laitier de bonne allure au charbon de bois. Il fondit facilement et devint parfaitement liquide. Le bain paraissait encore plus fluide que le verre à bouteilles employé dans les fusions précédentes. On le brassa plusieurs fois pour en porter toutes les parties à la même température.

L'acier fut chargé à neuf heures du matin. La charge se composait de 532 kil. d'acier puddlé de fonte d'Ivoy, en bouts de barres de 0^m,15 environ de longueur, et de 100 kil. du même acier coupé en petits morceaux à la cisaille. La plupart des bouts de barre renfermaient des parties ferreuses, quoiqu'on eût choisi le meilleur parmi tout le lot. De peur d'oxyder cet acier et de le rendre ainsi encore moins fusible, on ne lui fit pas subir d'échauffement préalable dans les cornues. Il fut donc chargé froid, les bouts de

barre étant superposés trois par trois et quatre par quatre sur la spadelle, suivant la profondeur de la sole à l'endroit où on les plaçait. Les petits morceaux furent répandus de manière à combler les vides des gros. La charge fut très-bien exécutée, et aucun fragment de métal ne se montrait au-dessus du bain. On donna le vent de la manière ordinaire.

A onze heures et demie, on sonda par deux trous qui avaient été ménagés dans la construction de la voûte, l'un près du petit autel, l'autre au-dessus du trou de coulée. On trouva de l'acier fondu au bout de la sole. On en trouva aussi au trou de coulée, mais on y sentait des corps durs faisant saillie, et que l'on crut être des morceaux d'acier non encore fondus. On continua à chauffer jusqu'à deux heures, sans progrès notable, l'épaisseur d'acier fondu paraissant même diminuer plutôt qu'augmenter au bout de la sole. Cependant le four semblait se refroidir; la flamme devenait jaune et fuligineuse. Enfin, M. Gibon, directeur de l'usine, fit ouvrir les portes supérieures du cendrier, et l'on s'aperçut que la grille était entièrement noire et engorgée de crasses. On procéda de suite au décrassage qui fut très-long et très-difficile; nous étions évidemment tombés sur un lot de houille très-impure, et le chauffeur n'avait pas bien conduit son feu. On ne put redonner le vent que vers quatre heures et demie, et l'on remplaça le chauffeur par un autre plus habile. Le four s'était beaucoup refroidi pendant le décrassage; il ne revint à une bonne température qu'au bout d'une heure et demie. Néanmoins, après trois heures de feu, la quantité d'acier fondu n'augmentait pas sur la sole. En sondant avec un ringard, on sentait sous le laitier une surface unie avec des petits ressauts réguliers paraissant être les joints des briques de la sole. Mais on trouvait toujours aux environs du trou de coulée des corps durs qu'on ne pouvait détacher, et qui pouvaient être soit des carcas de fer, soit des briques de la

sole soulevées, soit les deux ensemble. Enfin voyant que le feu le plus violent ne changeait rien à l'état des choses, nous fîmes faire la coulée à neuf heures du soir. L'acier qui coula paraissait bien liquide, mais il n'en vint dans la poche qu'une partie de ce que l'on aurait dû obtenir. Le laitier qui coula ensuite était incandescent et liquide comme de l'eau. Le trou de coulée fut bouché sans difficulté. On coula l'acier obtenu dans des lingotières de 100 kil., à la versée.

	kil.
On obtint deux lingots pesant ensemble	171
et un fond de poche pesant.	27
Total.	198
Comme on avait chargé 452 kil., il devait être resté dans le four, à un état impossible à préciser.	254
	452

Ce résultat était-il dû à la formation de carcas de fer infusible restés sur la sole, ou au soulèvement de quelques briques composant celle-ci, et à l'infiltration d'une partie de l'acier liquide? C'est une question que nous ne pûmes résoudre alors; mais les faits subséquents donnent lieu de penser que ces deux causes agirent simultanément pour réduire la quantité d'acier liquide obtenu. Du reste, nous avons toujours constaté qu'il est impossible, à la première coulée, d'obtenir la totalité de l'acier chargé sur la sole, même quand tout cet acier est devenu parfaitement liquide, parce qu'une partie est retenue par les joints et les anfractuosités de la sole. Il est probable qu'avec des soles d'une seule pièce, ou d'un très-petit nombre de morceaux, telles qu'elles devront être dans les fours définitifs, cet inconvénient, du reste fort léger, sera, sinon complétement, du moins en majeure partie évité.

On fit une seconde charge dans le même laitier à dix heures et demie du soir, après avoir décrassé la grille. Cette charge se composait de 445 kil. d'acier puddlé de fonte

d'Ivoy en plaques semblables à celles de la charge précédente.

La fusion marcha régulièrement, et tout l'acier paraissait parfaitement fondu à quatre heures et demie du matin. On le laissa en pleine fusion encore pendant $2^h,30$, dans l'espérance de dissoudre tous les carcas, s'il en était resté sur la sole.

Le 7, à sept heures du matin, on opéra la coulée, dans une poche préalablement chauffée, au moyen de laquelle on versa dans les lingotières l'acier sorti du four. Nous obtînmes :

	kil.
1° Quatre lingots pesant	363
2° Un fond de poche pesant	76
En tout	439
Comme on avait chargé 445 kil., il manquait	6
pour compléter la quantité chargée	445

Néanmoins, le déchet même au creuset étant toujours au minimum de 2 p. 100, par suite de la présence de scories et autres impuretés dans l'acier brut, et devant être à peu près double avec des aciers puddlés simplement ébauchés, comme ceux que nous employions, nous n'aurions dû obtenir que moins de 430 kil., s'il n'était pas resté de l'acier de la précédente fusion dans le four. Comme nous en avions obtenu 439, il s'ensuit que 9 ou 10 kil. de l'acier resté dans le four étaient venus avec la nouvelle charge, soit que toute cette charge eût fondu en dissolvant une partie des carcas qui avaient pu rester sur la sole, soit qu'elle eût simplement entraîné de l'acier déjà liquide à la première opération, dont l'écoulement avait été arrêté par quelque obstacle resté sur la sole lors de la première coulée. Le résultat que nous venions d'obtenir nous encouragea à continuer les opérations et nous fit présumer que nous retrouverions peu à peu le reliquat de la première fusion, sauf cette partie qui est toujours nécessaire pour sa-

turer la sole et que l'on en retire seulement à la fin de la campagne.

Nous observâmes l'état intérieur du four après la coulée. Les parois verticales étaient en bon état, les joints des briques paraissant seulement un peu ouverts. Les autels étaient intacts. La voûte seule avait été sensiblement attaquée, toujours par les joints, et les extrémités des briques avaient déjà pris la forme pyramidale que nous avons signalée, par suite du creusement des joints. Les matières pâteuses tombées de la voûte formaient sur le bain de laitier une sorte de croûte ou de couenne continue, résultat que nous n'avions pas observé avec l'emploi du verre à bouteilles. Nous fîmes enlever, au moyen de râbles, la majeure partie de cette couenne, qui était principalement formée des grains de quartz entrant dans la composition des briques de la voûte.

La grille et le four étant nettoyés, nous fîmes procéder à un troisième chargement le 7 février, à dix heures et demie du matin. On ne mit à ce moment que les deux tiers de la charge. Le surplus fut ajouté à onze heures. Nous agîmes ainsi parce que l'acier était chargé froid, comme dans les deux opérations précédentes, et que nous craignions de refroidir la sole en introduisant à la fois une trop grande quantité de métal à une aussi basse température.

La charge se composait de :

Acier puddlé de fonte d'Ystalifera, en plaques	357
Acier puddlé de fonte d'Ivoy, premier choix	68
Total	425

L'acier d'Ystalifera était très-ferreux, bien que ce fût le meilleur du lot. Cette fonte paraît avoir peu de qualité aciéreuse, et prendre très-vite au puddlage les caractères du fer à grain. On remarquera que nous ne faisions que de petites charges, bien que le four eût pu contenir aisément

7 à 800 kil. de métal. Nous n'avions que peu de matières offrant les caractères d'acier susceptible d'être fondu, et nous tenions à les ménager pour marcher le plus longtemps possible.

A trois heures et demie, après 5 heures de feu, l'acier paraissait fondu depuis quelque temps déjà; mais on n'en trouvait pas sur la sole l'épaisseur à laquelle on devait s'attendre, et l'on sentait toujours des obstacles du côté du trou de coulée. La continuation du chauffage n'ayant amené aucun changement, on fit percer à quatre heures et demie. On éprouva quelque difficulté à obtenir le jet d'acier, et il fallut repousser avec le ringard des corps demi-pâteux qui obstruaient le trou de coulée.

	kil.
On obtint deux lingots pesant.	218
Acier versé par terre en coulant les lingots et fond de poche.	96
Total	314

Comme on avait chargé 425 kil., il s'en fallait de 111 kil. que l'on eût retrouvé la totalité de la mise, outre les 244 kil. qui restaient encore de la première charge. Pour trouver la raison de ce déficit, nous fîmes sonder le bain avec beaucoup de soin par un puddleur habile, et nous acquîmes la certitude qu'il était resté sur la sole des carcas ferreux. Il en existait principalement le long des parois verticales du four, et au fond de la sole, aux environs du trou de coulée. En travaillant avec un ringard pointu et des crochets, nous parvînmes à extraire un de ces carcas, pesant environ 25 kil. On y reconnaissait la forme des plaques chargées; mais ces plaques avaient subi une véritable liquation. Toute la partie aciéreuse s'était fondue et écoulée, et il était resté une enveloppe paraissant purement ferreuse. Pour nous assurer de la nature de ces carcas, nous en fîmes forger un morceau à la petite forge, au blanc soudant. Il souda parfaitement, s'étira sous toutes formes

à cette température. Trempé au blanc, il ne prit pas la trempe, ne durcit pas le moins du monde, et se laissa plier et contourner à froid sans se rompre. Évidemment les carcas ne se composaient que de fer excessivement doux, et, comme tel, infusible aux températures produites dans les foyers métallurgiques. Ce résultat était dû à l'imparfaite fabrication de l'acier employé, acier dont une partie, surtout l'extérieur des barres, n'était que du fer. D'un autre côté, nous croyons que les dimensions assez considérables des plaques chargées dans le four avaient pu contribuer à réduire encore la quantité de métal entré en fusion. En effet, ces plaques, après avoir laissé liquater toute leur partie aciéreuse, formaient de grands carcas qui se soudaient et s'arc-boutaient entre eux, de sorte qu'ils ne pouvaient baigner dans l'acier déjà liquéfié, aux dépens duquel ils se seraient, du moins en partie, carburés et fondus. Néanmoins, il est évident que les matières métalliques soumises à la fusion manquaient de carburation et d'homogénéité, et que l'on n'aurait pas éprouvé les mêmes inconvénients avec des aciers d'une fabrication plus régulière.

Il eût été presque impossible d'arracher les carcas restés dans le four. Nous pensâmes que nous parviendrions à les dissoudre en les mettant, à la haute température du four, en présence de fonte très-grise, qui carburerait la masse ferreuse et la rendrait fusible. En conséquence, après que la grille eut été nettoyée, nous fîmes charger le 7, à sept heures du soir, 410 kil. de fonte d'Ivoy en gueuses, très-grise. Cette fonte entra en fusion sous le laitier avec une extrême rapidité. Nous fîmes pousser le feu jusqu'à dix heures du soir. A ce moment il nous sembla reconnaître, en sondant, que les carcas avaient beaucoup diminué, sinon complétement disparu. Nous fîmes faire la coulée, mais, à notre grande surprise, au lieu d'obtenir un notable excédant sur la fonte chargée, nous ne recueillîmes en lingots

et fonds de poche que 326 kil. Il restait donc 84 kil. de fonte dans le four. Comme cette fonte n'avait pu se transformer en carcas, il fallait qu'elle eût été retenue dans les anfractuosités de ceux-ci, ou qu'il se fût accumulé sur la sole aux alentours du trou de coulée des débris de briques tombés de la voûte, qui avaient empêché la fonte liquide de s'écouler, ou bien encore qu'il se fût formé une infiltration ou un soulèvement dans la sole. Les deux premières raisons nous parurent les plus vraisemblables.

Nous observâmes l'intérieur du four. Les parois verticales se maintenaient; la voûte seule avait continué à s'attaquer, principalement par les joints. Les autels n'avaient point subi de corrosion. Bien au contraire, les débris pâteux tombés de la voûte sur le grand autel s'y étaient coagulés, l'avaient sensiblement exhaussé et formaient même une saillie en forme d'auvent qui surplombait du côté de la sole. Nous fîmes placer sur cette saillie quelques morceaux de chaux pour en déterminer la fusion. De plus, dans le but de débarrasser le fond de la sole des morceaux de brique que nous supposions avoir pu s'y attacher, nous prescrivîmes d'y jeter, aux environs du trou de coulée, deux ou trois pelletées de scories de chaufferie et une pelletée de chaux. Accablés de fatigue, ainsi que notre personnel de fusion, nous nous retirâmes en laissant ordre au chauffeur d'entretenir le feu dans toute son intensité pendant la nuit. Nous espérions débarrasser ainsi les environs du trou de coulée et déterminer la fusion d'une partie des carcas.

Mais, pendant la nuit, ces instructions furent mal exécutées. Au lieu de trois pelletées de scories de chaufferie que nous avions dit d'introduire dans le four, dont on avait laissé écouler une partie du laitier, le chauffeur y mit trois grandes mannes de ces scories très-corrosives de leur nature. Le feu fut bien entretenu; mais le trou de coulée ayant été mal bouché et laissé dégarni de sa plaque de

garde, le bouchage s'ouvrit spontanément, et une grande partie du laitier mélangé de scories ferreuses s'écoula pendant la nuit, laissant probablement à nu une portion des carcas qui durent se brûler. On reboucha tardivement le trou de coulée.

Le lendemain, 8 février au matin, nous observâmes l'état du four; la voûte tenait toujours bien, quoique sensiblement rongée. Le grand autel était complétement débarrassé des débris en forme d'auvent qui s'y étaient attachés, et n'offrait aucune altération autre que l'inévitable arrondissement de ses arêtes. La quantité de laitier était beaucoup diminuée dans le four, par suite de l'accident de la nuit, et nous y sentîmes distinctement des carcas autour et au fond de la sole. Après en avoir délibéré avec M. le directeur de la forge et M. Sabatier, nous fîmes charger à onze heures du matin 500 kil. de fonte d'Ivoy très-grise, et nous prescrivîmes de chauffer à outrance jusqu'à ce que tous les carcas fussent fondus. Nous avions renoncé à l'espoir de remettre le four en bonne allure, et nous voulions seulement tâcher de le vider, tout en nous assurant, par un chauffage prolongé, de la résistance possible de la voûte.

A quatre heures, nous sentîmes en sondant que les carcas étaient complétement détachés de la sole. On soulevait facilement avec des ringards une masse ou gâteau de 150 à 200 kil. qui nageait à la surface du bain métallique, mais sous le bain de laitier. Un nouveau sondage fait une demi-heure après ne laissa apercevoir qu'un fragment beaucoup moins étendu en surface, et très-aminci du même gâteau. A six heures, tous les carcas étaient complétement dissous, et l'on n'en sentait plus la moindre trace dans le bain. Mais, en sondant encore quelques minutes après, nous trouvâmes une brique entière flottant dans le laitier, qui fut bientôt suivie de deux ou trois autres, que nous pûmes enlever avec des crochets. Ces briques étaient entières et nullement altérées. Elles ne pou-

vaient provenir que de la sole. Dès lors il devenait évident qu'une partie de la sole s'était soulevée, à la suite d'infiltrations progressives. Nous trouvâmes en effet, en sondant, un trou profond et assez large dans le fond de la sole, en face du trou de coulée.

Nous fîmes procéder à la percée, mais nous n'obtînmes que 215 kil. de fonte très-peu carburée, à grains d'acier. Il était évident que, par suite du soulèvement du fond de la sole, la masse du métal était descendue au-dessous du niveau du trou de coulée, et qu'il fallait renoncer à l'espoir de l'obtenir par cet orifice. Nous résolûmes de laisser refroidir le four en y conservant assez de laitier pour protéger le bain métallique contre l'oxydation, et de retirer la masse métallique en enlevant la plaque de coulée et démolissant la partie correspondante de la paroi du four. Ce qui fut exécuté.

La masse métallique sortie du four fut cassée au mouton et nettoyée des morceaux de briques qui y adhéraient. Elle pesait 516 kil. Elle était constituée par une fonte à grains brillants et blancs, se rapprochant de l'acier sauvage. Cette fonte chauffée au rouge s'aplatissait sous le pilon et prenait beaucoup de dureté à la trempe. C'est là un résultat naturel de la dissolution des carcas ferreux dans la fonte ajoutée. Il est probable que si la quantité de fer avait été plus considérable, on aurait obtenu un véritable acier.

Nous constatâmes par l'examen du four et des matières retirées, que l'acier s'était infiltré dans les joints des briques jusqu'au second rang au-dessous de la sole, sur une profondeur de $0^{m},20$ environ. Cette infiltration devait avoir commencé dès la première fusion, car les joints les plus profonds étaient remplis, non de fonte, mais d'acier très-doux, se forgeant et s'étirant parfaitement, prenant sous le marteau un très-beau grain, se trempant et se recuisant. Il est probable que la sole avait commencé à se déranger

aux environs du trou de coulée, pendant la première opération ; que le mal, stationnaire pendant la seconde, s'est augmenté pendant la troisième et la quatrième ; que l'introduction en excès d'un laitier corrosif pendant la nuit du 7 au 8, a fini de ronger les joints et frayé un passage à la masse du métal liquide, qui a déterminé le soulèvement du fond de la sole. L'infiltration de l'acier dans la sole dès le principe concourt, avec le défaut de carburation et d'homogénéité de l'acier, à expliquer la formation des carcas. Une grande partie de l'acier liquide étant passée dans la sole, il n'en est plus resté une quantité suffisante pour baigner les carcas et en déterminer la fusion, au moins partielle.

Pourquoi un tel accident est-il arrivé à cette sole, tandis que la précédente, construite dans les mêmes conditions, a tenu parfaitement? C'est une question à laquelle il est difficile de répondre avec certitude, quand on considère le nombre des causes qui ont pu déterminer les infiltrations. En effet, il suffit qu'un joint, sur plusieurs centaines, ait été mal ajusté, mal rempli de mortier réfractaire, pour amener une infiltration. D'un autre côté, les briques employées pouvaient avoir été cuites à une température moins élevée que les précédentes, et avoir pris un retrait plus considérable sous l'influence de la haute chaleur développée dans le four. De là serait résulté l'élargissement des joints et l'infiltration. Enfin, peut-être le laitier de Couvin que nous avons employé dans ces opérations est-il plus subtil, plus corrosif que le verre à bouteilles, et a-t-il attaqué le mortier de terre réfractaire formant les joints, en frayant ainsi la voie à l'acier.

Quoi qu'il en soit, l'infiltration et le soulèvement survenus dans cette série d'opérations démontrent que l'on ne peut avoir de confiance dans des soles formées de petites briques juxtaposées, n'ayant aucune solidarité entre elles, et offrant une multitude de joints dont un seul peut, en

se laissant pénétrer, amener la désorganisation de l'ensemble. Mais ce danger sera complétement évité avec des soles d'un seul morceau, ou d'un petit nombre de pièces rendues solidaires par des joints à feuillures, telles qu'il est non-seulement possible, mais encore facile de s'en procurer, dans l'état actuel de la céramique réfractaire. Avec une sole formée de plusieurs grandes pièces offrant une épaisseur de $0^m,25$ à $0^m,30$ et réunies par des joints à feuillure, aucun soulèvement n'est possible, par suite de la solidarité de toutes les parties. Peu importerait même que quelques lames d'acier pénétrassent dans les joints. Le métal ne pouvant exister à l'état liquide sous la sole, où la température n'est plus suffisamment élevée, la présence de ces lames serait un accident tout à fait insignifiant.

Du reste, l'examen des briques provenant de la sole et celui des parois du fourneau, nous a de nouveau démontré que les matériaux réfractaires ne sont sensiblement attaqués ni par l'acier ni par le laitier; que par conséquent une sole bien construite aura une durée très-longue, et devra être renouvelée beaucoup moins fréquemment que la voûte du four et les parois verticales qui, la première surtout, ont beaucoup à souffrir du contact de la flamme et de l'action corrosive des cendres de la houille, quand celle-ci est pyriteuse.

La voûte de notre four, après 95 heures de feu, dont 80 du plus violent, était usée d'environ $0^m,10$ à partir du grand autel jusqu'au rampant. C'était, ainsi que nous l'avons dit, par les joints que les briques s'étaient surtout attaquées, et l'extrémité de chacune d'elles offrait la disposition pyramidale que nous avons déjà signalée. Le verre ferreux qui revêtait et imprégnait les stalactites ou chandelles de la voûte dénotait l'action corrosive du fer contenu dans la houille. Il est évident qu'avec un charbon moins pyriteux, la voûte se conserverait beaucoup mieux. Il en serait de même si, au lieu d'être composée de petites briques posées

debout, et n'offrant que des surfaces continues de $0^m,12$ sur $0^m,06$, cette voûte était formée d'un très-petit nombre de grands voussoirs, tels qu'on les emploie dans les fours de verrerie et les fours à zinc. C'est un fait connu dans les verreries, les usines à zinc et les fabriques d'objets réfractaires, que les mêmes matériaux offrent d'autant plus de résistance aux températures très-élevées qu'ils sont en plus gros échantillons.

D'après l'opinion du maître maçon de la forge, notre voûte, qui comptait déjà quatre jours de feu, aurait pu résister encore quatre autres jours, d'autant plus qu'étant amincie à un certain point, elle commençait à éprouver l'action rafraîchissante de l'air extérieur, qui avait suffi pour maintenir intacts des autels creux dont les parois avaient $0^m,18$ d'épaisseur. On peut donc compter avec certitude sur une durée de huit jours pour des voûtes construites en petites briques de la qualité fabriquée aux forges de Montataire. Or de grands voussoirs construits avec la même terre dureraient plus longtemps. Cette durée serait encore prolongée si l'on employait des terres supérieures en qualité à celles d'Andennes, telles que celles de Forges, de Courpierre, de Bolènes, de Stourbridge et Stannington. Enfin, on prolongerait encore la durée des voûtes en ne brûlant que des houilles très-pures, telles que celles du levant du Flénu, de Belle et Bonne, et quelques autres qui ne contiennent que 3 p. 100 de cendres non pyriteuses, ne coûtent pas plus cher que les charbons moins purs employés à Montataire, et possèdent néanmoins un pouvoir calorifique considérable. Nous sommes persuadés qu'avec ces modifications dans les matériaux du four et le combustible, on obtiendra pour les voûtes une durée d'un mois.

Quant aux autels, la question est complétement résolue par les courants d'air ménagés dans ceux que nous avions construits en dernier lieu. Ces autels, bien que formés de

petites briques et présentant un grand nombre de joints, avaient parfaitement tenu, et auraient encore résisté quinze jours ou même davantage. Des autels d'une seule pièce, avec courant d'air intérieur, tiendraient encore plus longtemps. Nous avons vu des autels de cette sorte chez MM. Beudon et Dalifol, fabricants de produits réfractaires à Paris, 19, route d'Ivry, et la compagnie de Montataire leur en a commandé un pour l'essayer dans un four à réchauffer à vent forcé.

Quant à la forme générale du four, nous avons pu constater que les modifications qui y avaient été apportées en dernier lieu n'étaient pas heureuses. L'élévation de la voûte, qui avait pour but d'en assurer la conservation, n'a pas produit cet effet, si ce n'est au-dessus de la grille. La voûte s'est rongée avec la même rapidité, parce que les gaz les plus chauds, étant en même temps les plus légers, tendent toujours à monter et à en lécher la surface. Mais, par la même raison, la sole nous paraît avoir moins bien chauffé. Nous croyons donc que la voûte devra, dans les fours définitifs, être aussi rasante et aussi basse que possible, pour forcer la nappe de gaz incandescents à lécher le bain de laitier.

On ne peut tirer aucune conclusion des consommations faites pendant cette dernière série d'opérations, à raison des accidents qui, dès le principe, ont rendu la marche du four irrégulière. Disons seulement qu'il a été consommé pendant toute la campagne, du 4 au 8 février au soir, 14.380 kil. de houille, y compris l'échauffement du four. La durée totale du feu ayant été de 95 heures, cela représente seulement une moyenne de 150 kil. par heure. Mais comme il y a eu 20 heures d'échauffement sans donner le vent, plus le temps des décrassages de grille, chargements, percées, nous pensons que la consommation devait atteindre à 250 kil. dans les moments de plein feu.

Il avait été chargé dans le four :

	kil.
Acier puddlé	1.322
Fonte d'Ivoy	910
Total	2.232
Il en a été retiré en diverses fois . .	2.033
Différence	199

représentant un déchet p. 100 de 8,9.

Mais nous ferons remarquer qu'il a dû y avoir des carcas brûlés dans la nuit du 7 au 8 février, des grenailles restées dans le laitier, et des morceaux perdus lors du cassage au mouton du fond de sole. On ne peut donc baser aucun calcul sur ce déchet apparent.

La seule remarque utile à déduire des opérations de cette série, c'est que la fusion n° 2, qui a rendu un produit égal à la mise, a duré 6 heures, quoiqu'on opérât sur un acier très-ferreux. On peut donc considérer ce laps de temps comme celui qui sera nécessaire pour fondre les aciers les plus réfractaires.

Il ne nous reste plus qu'à rendre compte de l'état et de la qualité des lingots d'acier obtenus des trois premières fusions de cette série. La première observation qui nous frappa en examinant ces lingots, c'est qu'ils avaient tous été touchés plus ou moins, en les coulant, qu'ils portaient des pailles longitudinales, et parfois des aspérités provenant de portions de laitier qui avaient coulé avec l'acier et s'étaient figées contre la lingotière. Bien que ces résultats puissent être attribués en partie à l'inhabileté de nos ouvriers fondeurs, accoutumés à couler de la fonte, mais non de l'acier, nous considérons la coulée à la versée avec des poches comme un système vicieux et définitivement condamné. En effet, il nous semble impossible de diriger le jet d'acier avec assez de précision pour qu'il ne touche pas les parois de la lingotière, et d'empêcher le laitier, qui vient toujours

à la fin de la coulée, de tomber avec l'acier. De plus, le temps considérable que l'on perd pour transporter la poche de la fosse de coulée aux lingotières et d'une lingotière à l'autre, entraîne toujours le refroidissement et la coagulation partielles de l'acier et la formation d'un fond de poche volumineux. C'est donc la coulée par le fond de la poche, dite à la quenouille, qui doit être adoptée dans tous les cas, et il convient autant que possible de ne couler qu'un seul gros lingot par fusion.

Pour constater la qualité des aciers puddlés que nous venions de fondre, nous fîmes buriner et forger au pilon en grosse blette un lingot de 87 kil. provenant de la première coulée, acier puddlé de fonte d'Ivoy. Malgré la mauvaise disposition du pilon, le lingot se forgea parfaitement, et se comporta comme un acier très-doux. C'est à peine s'il se manifesta deux ou trois petites criques superficielles, qui furent enlevées à la tranche; mais, d'après l'assertion de M. Fis, confirmée par M. Baudry, il est à peu près impossible, même avec les meilleurs outils, de forger de gros lingots sans qu'il se manifeste quelques gerçures superficielles, que l'on est obligé d'ôter à la tranche. Le lingot ainsi étiré en grosse blette carrée à angles abattus fut coupé à la tranche en deux moitiés à peu près égales. On n'avait que des hacherons pour le fer, non tranchants, qui déchirent toujours plus ou moins le métal à la jonction des deux entailles. Non-seulement notre acier ne se déchira pas, mais il s'étira et s'allongea à la reprise comme le fer le plus nerveux et le plus doux. Des deux moitiés de la blette, l'une fut étirée sous le pilon de 3.000 kil. en une barre quarrée de 0m,050 de côté, l'autre passée au laminoir ébaucheur et étirée en barre ébauchée de 0m,040 de côté. Malgré la mauvaise disposition des appareils compresseurs, notre acier se comporta parfaitement à ces deux épreuves. La barre martelée offrait seulement quelques plis longitudinaux provenant de l'action du pilon, dont

la panne trop large écrasait et mâchait la matière au lieu de l'étirer. Elle présentait aussi quelques petites pailles superficielles dues à l'imperfection de la surface du lingot, qui avait été touché et sali par des gouttes de laitier. Néanmoins, cette barre était en somme très-propre et d'un bel aspect, sans avoir le lustre bleuâtre qu'on ne peut obtenir que sous des martinets spéciaux. La barre étirée au laminoir ne présentait aucune crique, mais seulement quelques pailles superficielles dues aux mêmes causes que les précédentes.

Un lingot de la seconde fusion, provenant également d'acier de fonte d'Ivoy, et pesant 85 kil., fut traité exactement comme celui de la première fusion. Il se comporta également bien au marteau et au laminoir, et parut même plus doux et plus malléable que le précédent. On en fit aussi deux barres, l'une quarrée de $0^{m},050$ martelée au pilon, l'autre, ébauchée au laminoir, de $0^{m},040$. Ces deux barres étaient en tout semblables aux précédentes.

La barre martelée n° 1 fut soumise à un essai de rupture à froid; mais bien qu'incisée sur trois faces, il fut impossible aux hommes les plus vigoureux de la casser avec la masse. Il fallut recourir au pilon de 3.000 kil., et la barre ne cassa qu'en pliant sensiblement, malgré le peu de distance entre les appuis. La cassure se montra très-belle, à grains fins et réguliers, avec des arrachements magnifiques. On cassa ainsi plusieurs morceaux, et le grain, de même que les arrachements, se montrèrent partout également beaux. Seulement, le bout de barre qui avait été terminé le moins chaud offrait un grain plus fin que l'autre, fait d'accord avec la théorie bien connue de l'influence de la température pendant le martelage sur le grain de l'acier.

La barre martelée provenant du lingot n° 2 offrit également une extrême résistance à la rupture à froid. Elle prit même plus de flèche que la précédente sous le pilon

avant de rompre. Elle présenta un grain magnifique, plus gros que celui de la barre précédente, et se rapprochant beaucoup de celui des fers à grains au charbon de bois, ou des aciers de Krüpp. Nous croyons qu'une barre de cet acier de $0^m,030$ à $0^m,035$ de côté aurait pu aisément être repliée sur elle-même à froid, de manière à faire toucher les deux bouts sans rompre ni même criquer au point de flexion. En un mot, cet acier, par sa résistance et sa ductilité à froid, présentait une qualité vraiment supérieure, surtout eu égard aux matériaux assez ordinaires d'où il provenait.

Un examen attentif faisait découvrir dans quelques cassures de nos barres des vestiges de bulles non ressoudées. Mais on sait qu'il n'existe guère d'aciers fondus exempts de bulles, et nous pensons qu'avec un meilleur forgeage celles du nôtre auraient complétement disparu. En effet, quand le forgeage est conduit de manière à comprimer également toutes les faces du lingot, les bulles, primitivement sphériques, prennent une forme ovoïde de plus en plus allongée qui finit par devenir une ligne pour ainsi dire mathématique et invisible même à la loupe. Si, au contraire, l'acier est écrasé inégalement sous le marteau, les bulles s'aplatissent et forment, dans l'intérieur du lingot, des surfaces planes, des espèces de pailles qui ne s'effacent jamais. C'est ce qui est arrivé sur quelques points de nos barres, par suite de l'imperfection du forgeage.

Des morceaux des barres ci-dessus furent soumis à divers essais à la petite forge. Ils se forgèrent parfaitement, se laissèrent étirer en petite verge crénelée sur la bigorne de l'enclume et avec la panne ronde du marteau. On en fit des burins qui prirent bien la trempe, quoique un peu tendres, surtout pour ceux provenant du lingot n° 2, évidemment le moins carburé. Ces burins n'avaient d'autre défaut que quelques pailles longitudinales provenant du touchage des lingots. Néanmoins, on put très-bien buriner de la fonte et même du fer avec ces outils.

La dernière épreuve à laquelle nous soumîmes nos aciers fut de les percer à chaud pour en fabriquer des tranches. L'acier du lingot n° 2 se perça très-bien, mais celui du n° 1 criqua latéralement sous le poinçon, bien qu'on eût pris toutes les précautions d'usage et ménagé la température. Nous croyons que cette différence doit s'expliquer par la nature plus vive et plus carburée de cet acier, provenant de la première fusion, où il s'est opéré une véritable liquation qui a laissé sur la sole les parties les plus ferreuses. On sait, du reste, que beaucoup d'aciers fondus, même de bonne qualité, ne peuvent se percer à chaud. Les usages auxquels seraient destinés nos aciers puddlés fondus n'exigent nullement qu'ils puissent résister à cette difficile épreuve. Comme l'acier provenant du lingot n° 2 l'a victorieusement subie, nous croyons qu'il sera toujours possible d'obtenir ce résultat par un triage et un assortiment convenables des qualités d'acier soumises à la fusion.

Enfin, nous fîmes étirer un lingot provenant de la troisième fusion (acier puddlé de fonte d'Ystalifera, mélangé avec de l'acier puddlé de fonte d'Ivoy). Ce lingot s'étira également bien en blette, mais le marteleur ayant voulu casser cette blette à froid en deux morceaux sous le pilon, un coup trop fort la rompit en quatre parties. La cassure était parfaitement saine et régulière; toutefois, elle présentait moins d'arrachements et un grain plus plat que l'acier d'Ivoy. Deux des morceaux furent forgés en couteaux de cisailles, avec un succès complet, un autre étiré en larget pour faire une feuille de tôle; mais on n'osa pas le passer aux cylindres, de peur de casser une cage, l'acier donnant un tirage bien supérieur à celui du fer. Le dernier morceau resta pour être ultérieurement étiré en barre quand le pilon, occupé pour les besoins de l'usine, redeviendrait libre. En somme, nous croyons l'acier puddlé provenant des fontes d'Ystalifera (à l'anthracite), moins tenace et moins résistant à froid que celui fabriqué avec la fonte d'Ivoy. Mais il pa-

rait moins sujet aux bulles et aux pailles que ce dernier.

Telles sont les opérations que nous avons exécutées aux forges de Montataire, du mois d'octobre 1860 au 8 février 1861. Bien que ces opérations aient été souvent contrariées par le manque de matériaux réfractaires spéciaux, d'un outillage approprié et d'un personnel expérimenté, elles nous paraissent néanmoins avoir démontré péremptoirement un certain nombre de points suffisants pour établir que le nouveau procédé de fusion des aciers au four à réverbère est d'une application pratique et industrielle. Nous allons résumer en quelques affirmations ces points, sur chacun desquels nous reviendrons ensuite avec quelques détails.

1° Il est possible de déterminer la fusion complète de l'acier, même très-doux et peu carburé, sur la sole d'un four à réverbère, sous une couche de laitier, ou silicate à bases multiples, d'une épaisseur suffisante pour protéger complétement le métal contre l'action oxydante de la flamme.

2° On peut faire dans un four plusieurs coulées successives et marcher d'une manière continue, condition essentielle d'un bon procédé industriel.

3° Le bouchage et le débouchage du trou de coulée n'offrent aucune difficulté, et s'opèrent aussi aisément que dans un cubilot ou un four à réverbère destiné à la fusion de la fonte de fer.

En conséquence, il est facile de conserver dans le four le laitier fondu de l'opération précédente, et d'y projeter incontinent la nouvelle charge d'acier.

4° La qualité de l'acier n'est pas altérée par le nouveau mode de fusion ni par le contact du laitier, même ayant servi à plusieurs opérations.

5° On peut obtenir, en coulant à la quenouille, de gros lingots parfaitement sains, égaux, sinon supérieurs en densité à ceux obtenus au creuset.

6° Ni l'acier ni le laitier n'exercent d'action corrosive sen-

sible sur la sole, même lorsqu'elle est formée de matériaux dont la qualité réfractaire n'est pas exceptionnelle. En conséquence, la sole aura une longue durée, pourvu qu'elle soit ou d'une seule pièce ou d'un petit nombre de pièces rendues solidaires par des joints à feuillure.

7° Des autels rafraîchis par des courants d'air intérieurs présentent une résistance et une durée suffisantes, même construits en petites briques et avec un grand nombre de joints. On peut garantir une durée minimum de quinze jours.

8° Une voûte construite en briques réfractaires de petit échantillon, de qualité bonne, mais non exceptionnelle, peut résister huit jours à la température nécessaire pour fondre des aciers puddlés. Cette durée sera prolongée par l'emploi de matériaux réfractaires de la plus haute qualité, par l'établissement de voûtes formées d'un très-petit nombre de grands voussoirs. Enfin on pourra recourir à des voussoirs et à des parois de four creux à courants d'air intérieurs, comme les autels. Tous ces perfectionnements doivent assurer à un four une durée probable d'un mois, et à peu près certaine de quinze jours.

9° On est certain de pouvoir fondre des aciers carburés et fusibles en 4 heures, des aciers doux et réfractaires en 6 heures.

10° Il est certain que l'on fondra les aciers doux avec une consommation de deux parties de houille pour une d'acier. Il est probable qu'on descendra au-dessous de ce chiffre, peut-être à une partie et demie.

11° Il est certain que l'on fondra de l'acier dans des fours dont la surface de sole est à la surface de grille comme 1,6 est à 1; que ce rapport pourra être beaucoup augmenté et probablement porté à :: 3 : 1. Dans tous les cas, la voûte doit être aussi basse, plate et rasante que possible.

12° On peut charger 350 kil. d'acier d'un seul coup par mètre carré de surface de sole du four. Cette quantité pourra

être portée à 500 kil. en faisant le chargement en deux fois.

13° Le prix du verre ou du laitier servant à préserver l'acier ne constituera qu'une dépense très-faible, moins de 0f,25 par 100 kil. d'acier fondu.

14° Le prix de revient des pièces d'acier puddlé fondu, forgées au pilon, pourra descendre à 50 francs les 100 kilogrammes.

Le premier point, possibilité de fondre l'acier, même très-doux, nous paraît résulter de l'ensemble de nos opérations. Les aciers de vieilles limes ont toujours fondu complétement et rapidement. Il en a été de même pour le mélange de 3/5 acier puddlé et 2/5 acier de limes. Quant à l'acier puddlé seul, celui de la seconde charge a fondu complétement, et s'il s'est formé des carcas dans le four, cela tient uniquement à la présence d'une trop grande quantité de fer dans l'acier, peut-être aussi au soulèvement de la sole et au mode de chargement de l'acier par grandes plaques.

Le second et le troisième point, possibilité de faire plusieurs opérations de suite, facilité du bouchage et du débouchage de la coulée, n'ont pas besoin d'explication. Ils ne sont que l'énoncé des résultats obtenus en présence d'une foule de témoins.

Le quatrième point, conservation de la qualité de l'acier, est démontré par les bons résultats obtenus de l'acier puddlé fondu seul, et par l'amélioration de qualité due à son emploi en mélange avec l'acier de limes. Voici en effet la progression : acier de limes fondu seul, forgeage très-difficile; acier de limes et acier puddlé mélangés, forgeage assez facile au pilon, mais point de résistance aux épreuves de la forge à main. Acier puddlé fondu seul, qualité parfaite sous le pilon et au laminoir; résistance aux épreuves de la petite forge. Cette progression, rapprochée des déclarations de M. Baudry, sur le vice propre aux aciers de

limes, démontre que dans le nouveau procédé, comme dans l'ancien, la qualité des lingots ne fait que reproduire celle des aciers soumis à la fusion.

Le cinquième point, possibilité d'obtenir, en coulant à la quenouille, de gros lingots parfaitement sains, est établi par la bonne condition des lingots obtenus aux 2e, 3e, 4e et 5e coulées. Ce procédé est, du reste, déjà employé avec succès dans les grandes aciéries pour couler les gros lingots, en réunissant dans une poche le contenu de plusieurs creusets.

Le sixième point (résistance des matériaux de la sole au contact de l'acier et du laitier) est constaté par l'état des soles ayant résisté à plusieurs fusions, sans aucune altération des matériaux, et par les opérations d'essai exécutées dans les creusets, qui ont fait le même service avec et sans laitier. D'ailleurs, quand même une sole épaisse de plusieurs décimètres se rongerait de quelques millimètres au bout d'un certain temps, c'est là une circonstance insignifiante, cette sole n'étant pas, comme un creuset, exposée à se percer ou se couper au plan de jonction de l'acier et du laitier. Le fond de la sole, qui en est la partie la plus importante, est presque constamment couvert par l'acier en fusion. Or, il est certain que l'acier n'a aucune action corrosive sur la terre réfractaire. Ce sont donc les bords de la sole qui sont le plus exposés à être dissous par le laitier. Mais on peut faire ces bords très-épais; on peut régler le dosage du laitier de telle sorte qu'il ne soit nullement corrosif. Enfin, nous rappellerons encore l'exemple des pots de verrerie, durant en moyenne quatre mois, bien qu'ils soient exposés par dehors à l'action destructive de la flamme, qui ne peut s'exercer sur nos soles complétement engagées dans le massif du four.

Quant à la possibilité de se procurer des soles monolithes ou d'un petit nombre de pièces rendues solidaires entre elles, il ne saurait exister aucun doute. MM. Beudon et Da-

lifol, fabricants de produits réfractaires, 19, route d'Ivry, près l'ancienne barrière de Fontainebleau, se font forts de nous fabriquer des soles de 3 mètres de long sur 2 de large, d'un seul morceau, ou d'un petit nombre de pièces réunies entre elles par des joints à feuillure. Nous avons vu dans l'établissement de ces messieurs, que nous regrettons de n'avoir pas connu plus tôt, des pièces monolithes de dimensions aussi considérables, notamment des soles de fours à cuivre et de fours pour la fabrication de la soude artificielle. Ces habiles fabricants nous construiront des soles en terres de Forges de première qualité au prix de 120 fr. les 1,000 kil., et ils assurent qu'ils peuvent obtenir des mélanges qui ne prennent plus de retrait après la cuisson. D'un autre côté la compagnie anonyme des produits réfractaires d'Andennes (Belgique) nous offre de fabriquer des soles de cinq morceaux seulement, réunis par des joints à feuillure. Nous croyons que, dans une aciérie fabriquant elle-même ses matériaux réfractaires, des soles en terre de qualité supérieure ne reviendront pas à plus de 75 fr. les 1.000 kil. au maximum. En effet, la première qualité de briques réfractaires fabriquée à l'usine de Montataire, que nous avons employée et dont la résistance est très-suffisante pour les soles, sinon pour les voûtes, ne revient qu'au prix de 45 fr. par 1.000 kil., toute cuite. Or, les argiles de Forges auxquelles on aurait recours, ne coûtent pas 30 fr. par 1.000 kil. de plus que celles d'Andennes, qui sont employées à Montataire.

Nous n'insistons pas sur l'art. 7, relatif à la durée des autels à courant d'air. C'est un point établi par l'expérience. Du reste, cette partie des fours est la plus facile à réparer, et peut être refaite sans toucher aux parois, à la sole ni à la voûte. On sait que, dans les forges, les autels des fours à réchauffer sont reconstruits à peu près tous les quinze jours, tandis que les réparations à la voûte et aux parois sont beaucoup moins fréquentes.

La durée de la voûte, qui forme le huitième article de nos conclusions, est le point sur lequel devront se concentrer les efforts tendant au perfectionnement de nos fours. L'expérience a en effet démontré que c'est la voûte, bien plus que la sole, les autels ou les parois verticales, qui souffre de la violente température développée dans notre appareil. Or, avec les briques de petit échantillon employées à Montataire, nous sommes déjà certains d'une durée de huit jours pour nos voûtes. Quand on ne ferait pas de progrès, c'est là un résultat suffisant pour assurer le succès complet du nouveau procédé de fusion. En effet, le mètre carré de voûte de $0^m,25$ d'épaisseur en briques d'une densité de 2,5 et coûtant 45 fr. les 1.000 kil., représente un poids de 625 kil. et une dépense de $28^f,15$. Une voûte de $3^m,50$ de surface coûtera donc pour les matériaux $98^f,55$. Si l'on ajoute à ce prix $21^f,45$ pour la main d'œuvre, on arrive à un total de 120 fr. pour le coût de la voûte. Il y aura encore à déduire de cette somme au moment de la démolition la valeur d'environ 1.000 kil. de vieilles briques à broyer pour les repasser dans les mélanges. Mais nous négligerons cette déduction. Or, un four de 3 mètres de surface de sole (un 1/2 mètre étant déduit pour le recouvrement de la voûte sur les parois), un tel four pourra fondre au minimum 1.000 kil., et fera au moins trois coulées par 24 heures, soit 3.000 kil. Dans une campagne de huit jours, on aura donc fondu 24.000 kil. En divisant par cette somme les 120 fr., coût de la voûte, on voit que l'entretien de cette partie du four ne revient qu'à 5 fr. par tonne d'acier fondu, ou $0^f,50$ par 100 kil. La sole, les parois verticales et les autels devant durer beaucoup plus longtemps que la voûte, l'entretien n'en coûtera certainement pas aussi cher. Quand même on admettrait de ce chef une dépense de 5 fr. par tonne, égale à celle de la voûte, on voit que l'entretien du four ne reviendrait qu'à 10 fr. par tonne d'acier fondu. Avec les perfectionnements que nous comptons

réaliser dans les diverses parties du four, ce chiffre ne sera certainement pas atteint.

En employant les mêmes matériaux dont se composent les briques réfractaires de Montataire, et apportant seulement plus de soin dans l'élaboration des terres et le mélange des ciments, on pourrait obtenir une plus longue durée des briques. La substitution de grands voussoirs aux petites briques exercera encore plus d'influence sur la résistance de la voûte à l'action de la flamme. En admettant que chacune de ces modifications procure une prolongation de durée de quatre jours, on aurait ainsi doublé et porté à quinze jours la campagne d'une voûte. Enfin, si l'on remplace les terres d'Andennes par celles de Forges, de Courpières, de Bolène ou de Stourbridge et Stannington, on obtiendra encore une amélioration très-importante, qui portera probablement à un mois et peut-être plus loin encore la durée de nos voûtes.

On obtiendra un résultat non moins avantageux par la substitution d'une houille plus pure à celle que nous avons employée. C'est surtout par l'action corrosive des cendres du charbon entraînées par le courant d'air, que les voûtes se détruisent. Les nombreux échantillons de stalactites ou *chandelles* de la voûte, que nous avons recueillis, mettent ce fait en pleine lumière. On remarque, en effet, sur ces échantillons un enduit vitreux noir ou jaunâtre, de nature ferreuse, beaucoup plus épais sur le côté des stalactites regardant la grille. Ce côté est, de plus, rendu rugueux par les cendres qui s'y sont attachées. Bien que l'on n'aperçoive pas de pyrite à l'œil nu dans la houille que nous avons employée, cependant l'abondance et la couleur noirâtre du mâchefer qu'elle produit, la nature des cendres fusibles qu'elle dépose sur les parois du four ne permettent pas de douter qu'elle n'en contienne une forte proportion. Or, il serait facile à une aciérie située à proximité des houillères belges de se procurer des houilles d'une pureté

remarquable et qui ne coûtent pas plus cher que celles qu'on brûle à Montataire. En effet, M. le directeur de l'usine à glaces de Saint-Gobain a envoyé à cette forge, comme échantillon, quelques wagons d'une houille belge adoptée dans son établissement pour la fusion du verre à glaces dans des pots ouverts. Cette houille ne renferme que 3 p. 100 de cendres blanches et nullement ferreuses. Cette dernière qualité est très-importante dans une fabrique de glaces, parce qu'une faible quantité de cendres chargées de fer suffirait pour donner aux verres une teinte jaune. Essayée dans les fours à réchauffer de Montataire, cette houille a montré beaucoup de puissance calorifique, mais une flamme plus courte que celle des charbons actuellement employés. C'est un inconvénient pour cette forge, où l'on tient à produire le plus de vapeur possible au moyen des flammes perdues des foyers métallurgiques. Pour nous, ce serait un avantage plutôt qu'un inconvénient, parce que nous devons chercher à concentrer la chaleur dans notre four plutôt qu'à obtenir une grande longueur de flamme pour la production de la vapeur. Le directeur de Saint-Gobain ne nous a pas fait connaître le nom de la mine d'où provient cette houille remarquable par sa pureté. D'après les renseignements que nous avons pris auprès de M. Gabriel Dehaynin, l'un des hommes les plus compétents en cette matière, elle doit, selon toute vraisemblance, provenir de la houillère dite Belle-et-Bonne, ou du Levant-du-Flénu. Nous croyons qu'il est possible de se procurer, sur le bassin de la Loire, des houilles d'une pureté à peu près égale, et d'une puissance calorifique encore supérieure. En choisissant ces qualités de combustibles, on prolongera certainement dans une forte proportion la durée des voûtes et des parois des fours.

Nous avons déjà indiqué un dernier moyen pour atteindre à ce résultat : ce serait de construire la voûte et les parois en pièces creuses à travers lesquelles on ferait passer

des courants d'air. Nous avons signalé l'heureuse influence de cette disposition sur la durée des autels. Nul doute qu'elle ne produise le même effet sur les voûtes et les parois. Il ne nous paraît pas à craindre que cette disposition refroidisse le four de manière à empêcher la fusion de l'acier. Les parois creuses et les autels à courant d'eau des fours à puddler n'empêchent pas la fonte d'y entrer en fusion et le fer d'y arriver au blanc soudant. Nos autels à courant d'air n'ont pas nui à la fusion de l'acier puddlé. Il y aura seulement, selon toute probabilité, un léger accroissement dans la consommation du combustible.

La durée que nous avons assignée à la fusion des aciers, sous le n° 9 de nos conclusions, est justifiée par les expériences que nous avons faites. Toutes les fusions d'aciers de limes ont été complètes en moins de 4 heures. La seconde fusion d'acier puddlé très-doux, la seule qui ait été régulière, s'est effectuée en 6 heures. D'après ces bases, on devrait faire par 24 heures six fusions d'acier dur et quatre fusions d'acier très-doux. Mais comme il faut le temps de décrasser la grille, d'opérer les chargements, nous comptons seulement sur cinq fusions d'acier dur et trois fusions d'acier doux. En bonne marche et avec des houilles pures, le décrassage de la grille ne devrait pourtant pas exiger plus de 0^h,30′ à chaque opération. Ce décrassage et l'enlèvement des escarbilles prenaient beaucoup trop de temps à Montâtaire, par suite des nécessités du service de l'usine qui nous forçaient d'attendre des heures entières les releveurs d'escarbilles.

Il est possible et même probable qu'en employant des houilles très-ardentes, l'air chaud et des soles chauffées en dessous par un retour de flammes, on parvienne à abréger notablement le temps de la fusion ; mais ce sont là des perfectionnements à réserver pour l'avenir.

Nous avons évalué, sous l'art. 10 de nos conclusions, la consommation de houille à deux parties pour une d'acier

fondu, même très-doux. Voici les raisons qui justifient cette appréciation. Nous sommes parvenus à fondre, avec cette consommation, des aciers de vieilles limes qui n'étaient pas très-carburés, la plupart des limes ayant subi plusieurs retaillages, d'autres étant formées d'acier corroyé, d'autres encore n'étant que du fer trempé au paquet. Dans la fusion du mélange de 3/5 acier puddlé et 2/5 vieilles limes, nous avons employé 6 heures et environ trois parties de combustible. Il en a été de même dans la seconde fusion d'acier puddlé pur, la seule qui ait marché régulièrement. Mais, dans toutes ces fusions, le four aurait pu contenir 800 kil. d'acier, au lieu de 600 et 450, et la fusion n'aurait exigé ni plus de temps ni plus de combustible. Nous croyons au contraire qu'elle en exige moins à pleine charge qu'à demi-charge. En effet, le métal étant meilleur conducteur de la chaleur que le laitier, plus le mélange chargé sur la sole renferme proportionnellement de métal, et plus rapidement la chaleur se communique à la masse et pénètre jusqu'à la sole. La quantité de chaleur latente absorbée par l'acier pour passer de l'état solide à l'état liquide n'est qu'une très-faible fraction de celle qui est développée dans le four, en sorte que l'accroissement dans la quantité de métal à fondre n'a que peu d'influence sur la quantité totale de chaleur consommée. En outre, la couche d'acier liquide sur la sole étant tout d'abord plus épaisse, baigne plus complétement les fragments d'acier les plus ferreux et les plus réfractaires et les dissout plus vite. Aussi doit-on remarquer que nos premières fusions à la charge de 600 kil. se sont accomplies plus promptement que les dernières, à la charge de 425 et 450 kil., résultat que nous n'attribuons pas seulement à la plus grande fusibilité de l'acier traité en premier lieu, mais aussi à la quantité de cet acier. De ces considérations il résulte que notre four à pleine charge n'aurait pas consommé plus de deux parties de houille pour fondre une partie d'acier puddlé très-réfrac-

taire, et qu'il aurait consommé beaucoup moins pour fondre des aciers fusibles.

Mais ce n'est pas tout; et ici je passe au développement du 11e article des conclusions, intimement lié au précédent. On a vu dans le cours de ce rapport que, de l'avis unanime des témoins de nos opérations, parmi lesquels se trouvaient les hommes les plus compétents pour juger des températures, la flamme conservait une chaleur suffisante pour déterminer la fusion de l'acier non-seulement au sortir du rampant de la sole, mais encore à plus de 3 mètres au delà, après la dernière cornue; que dans certains cas le maximum de température, le *coup de chalumeau* paraissait reporté bien au delà de notre sole, sur laquelle cependant l'acier fondait parfaitement. Un fait qui confirme cette appréciation, c'est que les briques réfractaires de la voûte au-dessus des cornues fondaient superficiellement et formaient des chandelles jusqu'au dernier rampant, comme celles de la voûte du four. Seulement cette fusion était moins intense parce que le courant de flamme était dépouillé de la majeure partie des cendres, principal agent de la fusion des briques. Or, la conséquence évidente et nécessaire de ces faits, c'est que notre sole était trop petite, et surtout trop courte pour utiliser convenablement la chaleur développée; c'est qu'on aurait pu lui donner au moins $1^m,50$ de longueur de plus, en augmentant la largeur de $0^m,30$ à $0^m,40$, ce qui aurait plus que doublé l'étendue de cette sole, et cela sans que la température du four eût été abaissée. Il est probable au contraire qu'elle se serait élevée encore davantage, les gaz pouvant, grâce à cette augmentation de surface, tourbillonner et se mélanger complétement dans le laboratoire du four, au lieu de le traverser avec une extrême rapidité pour aller achever leur combinaison bien au delà. En donnant au four une surface de sole triple de celle de la grille, on s'éloigne peu du rapport adopté pour les à souder le fer. Mais, nos voûtes étant très-rasantes,

la capacité du laboratoire d'un four de fusion sera encore à peine la moitié de celle du four à souder; la température devra donc être beaucoup plus élevée dans le premier. Or, il est généralement admis aujourd'hui que la température de fusion de l'acier n'est guère que de 200° supérieure à celle du blanc soudant du fer. On y atteindrait donc certainement dans un four de fusion où la sole serait à la grille comme trois est à un.

Mais si notre four d'essai avait été construit sur ces dimensions, nous aurions pu aisément charger sur la sole 1,800 kil. d'acier, qui, d'après les considérations précédentes, auraient fondu sans une plus forte consommation de combustible. Comme nous ne brûlions pas plus de 1,800 kil. de charbon en 6 heures, temps maximum des fusions régulières, il s'ensuit que nous n'aurions consommé qu'une partie de combustible pour fondre une partie d'acier très-réfractaire, et moins d'une partie pour fondre des aciers assez fusibles, comme nos vieilles limes (environ 700 kil. de houille pour 1.000 d'acier). Nous n'avons garde d'affirmer que l'on parvienne en marche courante à un tel résultat; mais nous n'oserions pas davantage affirmer que l'on n'y parviendra pas. Nous croyons que l'on peut très-légitimement espérer d'arriver à fondre les aciers réfractaires avec 1.500 kil. de houille pour 1.000 kil. de métal, soit une partie et demie de combustible. Nous ne comprenons pas dans ce chiffre le charbon consommé pour l'échauffement préalable du four. On peut l'estimer au maximum à la consommation de 24 heures de pleine fusion. Par conséquent, pour une campagne de quinze jours, il y aurait de ce chef 1/15 à ajouter au charbon employé à la fusion proprement dite, et pour une campagne de trente jours, 1/30 seulement.

Nous n'insisterons pas sur les économies qui pourront être encore réalisées par le soufflage du four à l'air chaud et par l'emploi de soles chauffées en dessous au moyen

d'un retour de flammes. Si ces dispositions sont compatibles avec la conservation des fours, ce que l'expérience pourra seule révéler, il est évident, d'après les résultats obtenus en métallurgie dans des circonstances analogues, qu'elles produiront encore une réduction du combustible consommé.

Nous devons faire observer, en terminant cet article, que les modifications indiquées ci-dessus aux dimensions de la sole s'appliquent au cas où l'on emploie des houilles à très-longue flamme, comme celles que nous avons brûlées dans nos essais. Avec des houilles moins flambantes, on ne pourrait probablement pas donner aux soles la longueur de 3m,36 que nous avons indiquée, mais on devrait sans doute réduire cette longueur à 2 mètres ou 2m,25; en même temps on élargirait cette sole ainsi que la grille dans le sens transversal, en diminuant la longueur de celle-ci comprise entre le grand autel et le mur du fond. Il est évident que les dimensions de la sole et de la grille dépendront beaucoup de la nature et de la qualité des combustibles employés. Nous n'avons pu poser sur ce point que des données générales qui devront être complétées par la pratique.

L'intensité du tirage, le règlement du vent forcé, la répartition du chargement sur la grille et l'habileté du chauffeur exerceront aussi une très-grande influence sur la consommation du combustible. Nous croyons nécessaire d'avoir pour chaque four une cheminée particulière, donnant un très-fort tirage, sauf à modérer ce tirage, soit au moyen d'un registre placé dans le conduit horizontal à la suite du four, soit par un clapet placé sur l'orifice de la cheminée. Une cheminée commune offre de graves inconvénients. Le tirage est toujours irrégulier, et moins intense qu'avec une cheminée spéciale, surtout lorsque l'un ou quelques-uns des fours donnant dans la cheminée sont inactifs et y laissent pénétrer des masses d'air froid. C'est la situation où nous nous sommes trouvés à Montataire. Aussi n'avons-nous pu

déterminer la fusion de l'acier au tirage naturel, résultat que nous avions obtenu d'emblée aux ateliers du chemin du Nord, dans un simple four à réchauffer à tirage naturel, mais à cheminée spéciale, en opérant sur des aciers tellement doux qu'ils ne prenaient pas la trempe après avoir été fondus et martelés.

L'introduction du vent forcé doit être réglée avec beaucoup de soin. Un vent trop fort refroidit le four, tout en augmentant la consommation de combustible, entraîne beaucoup de cendres et de houille menue, et porte la température maximum beaucoup trop loin de la grille. Avec un vent trop faible, on a les inconvénients opposés. Au moyen du registre dont est muni le porte-vent, il est toujours facile au chauffeur de régler convenablement l'entrée de l'air. L'épaisseur du charbon sur la grille doit être très-régulière et d'environ $0^m,25$. Plus forte, elle amènerait la formation d'oxyde de carbone ; plus faible, le passage d'air non brûlé. Il importe de prévenir la formation de trous dans la charge de charbon, et surtout l'encrassement de la grille. On comprend dès lors combien l'habileté du chauffeur peut accélérer la fusion et diminuer la quantité de combustible consommé.

Nous avons dit dans l'art. 12 de nos conclusions, que l'on peut charger par mètre carré de surface de sole 350 kil. d'acier d'un seul coup, et 500 kil. en deux fois. Ces chiffres résultent des expériences que nous avons faites et où nous avons pu charger d'un seul coup 600 kil. sur une sole ayant $1^m,80$ carré de surface. Mais nous pensons qu'ils peuvent être de beaucoup dépassés. En effet, en admettant pour l'acier en fusion une densité de 7,5, on reconnaît que 350 kil. d'acier liquide représentent sur une sole supposée horizontale, une épaisseur de $0^m,047$ seulement, et 500 kil. d'acier une épaisseur de $0^m,067$. Or, nous avons reconnu qu'il suffit, pour assurer l'écoulement de l'acier, d'une pente de $0^m,012$ par mètre sur la sole, celle-ci étant supposée

bien unie, et pourvue d'une cuvette de $0^m,025$ à $0^m,030$ de profondeur autour du trou de coulée. Sur une sole offrant une distance de 3 mètres entre le trou de coulée et l'extrémité la plus éloignée, la pente totale serait de $0^m,036$. L'épaisseur moyenne de la nappe d'acier liquide étant de $0^m,047$ pour 350 kil., de $0^m,067$ pour 500 kil., on voit qu'il y aura dans le premier cas une épaisseur d'environ $0^m,020$ d'acier au pourtour de la sole, de $0^m,056$ à la naissance de la cuvette entourant le trou de coulée, de $0^m,086$ au trou de coulée, dans le second des épaisseurs de $0^m,040$, $0^m,076$ et $0^m,106$ aux mêmes endroits. Ces épaisseurs sont peu considérables et laissent encore pénétrer une chaleur bien suffisante jusqu'à la sole, si l'on considère la grande puissance conductrice du métal, et ce fait remarquable que nous avons obtenu de l'acier en pleine fusion sous $0^m,10$ de laitier, beaucoup moins bon conducteur. Aussi croyons-nous que l'on pourrait sans inconvénient augmenter de $0^m,020$ ou $0^m,030$ l'épaisseur de la nappe d'acier liquide.

La charge d'acier n'est limitée en réalité que par la quantité de métal en morceaux qu'il est possible de faire tenir sur la sole sans dépasser le niveau du laitier destiné à le protéger. Or, cette quantité dépend beaucoup de la forme et des dimensions des morceaux. Nous croyons que les meilleures proportions seront celles de petits cubes ou parallélipipèdes de $0^m,02$ à $0^m,03$ de côté, qu'il sera très-facile d'obtenir en découpant les barres d'acier à la cisaille. Ces petits morceaux s'arriment naturellement ensemble, les angles s'adaptant aux vides, tandis qu'il est très-difficile de disposer dans le laitier de gros morceaux qui s'arc boutent entre eux et laissent toujours des vides considérables. De plus, l'exiguïté des fragments multiplie les surfaces de contact entre le métal et le laitier, véhicule de la chaleur, en sorte que la fusion se trouve notablement accélérée. Enfin, les petits morceaux forment un mélange beaucoup plus homogène en qualité; les fragments ferreux

se trouvent entourés de fragments plus carburés, qui déterminent leur liquéfaction, tandis qu'une grosse barre ferreuse restera presque immanquablement à l'état de carcas, comme cela nous est arrivé. Or, nous avons lieu de penser que l'acier réduit en petits cubes présentera environ moitié plein et moitié vide, et que sa densité sera par conséquent la moitié de celle de l'acier massif, soit 4, ou 4 kil. par décimètre cube. La sole ayant une profondeur minimum de $0^m,12$ au pourtour et de $0^m,15$ aux environs du trou de coulée, on pourra charger une épaisseur moyenne de $0^m,13$ d'acier en petits cubes, sur toute la surface de la sole, soit 130 litres par mètre carré, pesant 520 kil. Le laitier ne doit faire que remplir les vides et recouvrir la charge de quelques millimètres. Quand l'acier sera parvenu à l'état pâteux et se sera affaissé par un commencement de fusion, on pourra faire une seconde charge supplémentaire d'environ 250 kil. par mètre carré de sole, ce qui donne un total de 770 kil. par mètre carré. Seulement, il faudra que cette seconde charge soit portée préalablement au rouge blanc dans la caisse à réchauffer, pour ne pas refroidir le four. On voit donc que nous nous tenons à des chiffres minima en évaluant à 350 kil. par mètre carré la charge que la sole peut recevoir en une seule fois, et à 500 kil. la charge faite en deux temps successifs, espacés de 1 heure ou $1^h,30$.

Malgré l'opinion contraire exprimée par quelques personnes compétentes, nous persistons dans la pensée bien arrêtée qu'il convient d'échauffer l'acier au rouge blanc dans une caisse placée à la suite du four, avant de le charger. Les arguments invoqués contre ce procédé sont : 1° Que l'acier court risque de s'oxyder et de se décarburer par suite de l'introduction de l'air dans la caisse à travers les fissures ; 2° que si l'on ajoute du poussier de charbon pour prévenir cet inconvénient, on cémentera l'acier et l'on n'aura pas de régularité dans les qualités. Mais nous pen-

sons qu'il sera toujours facile d'obtenir des caisses étanches, bien supérieures sous ce rapport à nos cornues d'essai, en employant pour les parois inférieures et supérieures de grandes briques avec joints à feuillure, comme celles qui servent à la construction des caisses de cémentation, et pour les parois verticales des briques ordinaires soigneusement rejointoyées avec de la terre réfractaire. La température très-élevée que subira l'extérieur de ces caisses en glacera la surface et ne fera que les rendre plus imperméables. Ce résultat ne pouvait être obtenu avec nos cornues, qui s'étaient remplies de fentes et laissaient circuler l'air entre elles et l'enveloppe de briques réfractaires dont on les avait tant bien que mal protégées. La clôture de la porte de la caisse n'offre aucune difficulté, car on peut la luter par dehors avec de la terre grasse. Dans ces conditions, et en entourant l'acier de poussier de charbon, l'oxydation sera complétement prévenue. Du reste, même dans nos cornues nous sommes parvenus à l'éviter complétement par ce procédé. Quant à la cémentation irrégulière de l'acier, elle ne pourrait être que très-faible pendant les 4 ou 6 heures consacrées au chauffage ; elle serait d'ailleurs régulière, la température et la durée étant à peu près constantes. Enfin, il sera toujours possible de l'éviter d'une manière absolue, en employant des poussiers ayant déjà servi à la cémentation et épuisés, qui abondent dans les aciéries. On sait que ces poussiers ne renfermant plus de principes alcalins ne produisent plus la cémentation, tout en restant propres à prévenir l'oxydation, par leur transformation en acide carbonique et oxyde de carbone en présence de l'air. Ce charbon sera chargé sur la sole en même temps que l'acier. On y trouvera l'avantage de mieux garantir celui-ci de l'oxydation pendant le chargement, et de lui conserver sa chaleur pendant le trajet de la caisse à la porte de travail. Le poussier reste flottant sur le bain de laitier et est promptement brûlé ou emporté par le

courant d'air. C'est ainsi que nous avons opéré plusieurs fois, et nous nous en sommes bien trouvés. La consommation de poussier est un article de dépense insignifiant. Ce poussier vaut en effet environ 0f,40 l'hectolitre. Or, 1 hectolitre suffira pour protéger 2 hectolitres d'acier en petits morceaux, pesant 800 kil. C'est donc une dépense de 0f,05 par quintal métrique d'acier réchauffé.

Nous avons indiqué, à l'art. 13 de nos conclusions, le prix de 0f,25 par quintal métrique d'acier fondu pour la consommation de verre ou de laitier. Voici les motifs de cette appréciation. En employant des aciers bien purgés de scories par un bon travail au pilon et au laminoir et des houilles aussi peu pyriteuses que possible, le même laitier pourra servir très-longtemps. En effet, sa composition ne peut être altérée que par les débris tombés de la voûte, ou par les matières corrodées de la sole, ou bien par les cendres de la houille et par les scories ferreuses provenant de l'acier. Or, les matières du four, composées essentiellement de silice et d'alumine, ne peuvent altérer l'innocuité du laitier à l'égard de l'acier. Tout au plus pourraient-elles en diminuer la fusibilité, cas auquel il suffit d'ajouter au bain un peu de chaux ou de calcaire concassé. Les cendres de la houille renferment principalement de la silice et de l'alumine et une très-faible proportion d'oxyde de fer, pourvu que l'on ait soin de choisir des charbons aussi peu pyriteux que possible. Des aciers convenablement fabriqués ne doivent pas contenir plus de 1 p. 100 de scories, dont la majeure partie devra encore être réduite par le carbone qu'ils renferment et par le poussier de charbon employé au chauffage préalable. En admettant que la proportion du laitier à l'acier soit sur la sole de 700 kil. du premier contre 1,000 du second, nous croyons que chaque fusion n'introduira pas dans le laitier plus de 2 p. 100 d'oxyde de fer. Il faudra donc huit fusions pour que ce laitier en contienne 16 p. 100, proportion qui sera encore

réduite par l'addition de la silice et de l'alumine provenant des matériaux du four et des cendres de la houille. Nous avons constaté que des laitiers ayant servi à quatre fusions d'aciers notablement oxydés et perdant au minimum 5 p. 100 de ce chef, n'exercent aucune action décarburante sur les aciers fondus les derniers. De plus, l'aspect et la couleur de ces laitiers attestaient que le fer y existait à l'état de protoxyde, et non de peroxyde. Par conséquent, ils ne pouvaient exercer d'action décarburante sur l'acier, car l'affinité de la silice pour le protoxyde de fer est trop énergique pour que ce dernier puisse être réduit par la faible quantité de carbone contenue dans l'acier à l'état de combinaison. D'un autre côté, nos laitiers contenant à la fin au moins 20 p. 100 de protoxyde de fer n'exerçaient point d'action corrosive sur les parois du four. On peut donc admettre qu'en employant des aciers puddlés simplement ébauchés, mais convenablement épurés par un bon cinglage, le même laitier pourra servir pour huit opérations successives. A plus forte raison obtiendrait-on le même résultat avec des aciers cémentés, ou des aciers naturels et de forge, ou bien encore des aciers puddlés corroyés, tous beaucoup mieux purgés de scories que l'acier puddlé simplement ébauché. Dans tous les cas, le chargement doit être opéré de telle sorte que l'acier baigne complétement dans le laitier et ne puisse être oxydé par la flamme.

Nous avons indiqué le rapport de 700 à 1,000 comme proportion en poids du laitier à l'acier chargé sur la sole. Voici comment nous établissons ce rapport. La densité du verre ou laitier alumino-calcaire étant de 2,74 en moyenne, 700 kil. de cette substance représentent un volume plein de 255 litres. 1,000 kil. d'acier représentent un volume plein de 125 litres, à la densité de 8, et de 250 litres à la densité de 4, correspondant à moitié plein, moitié vide. L'acier étant chargé en morceaux dans le laitier en fusion, on voit que le volume de ce laitier et celui qu'occupe l'a-

cier en fragments sont à peu près égaux. Or, les vides de l'acier représentant la moitié de son propre volume, il suffira de la moitié du laitier liquide pour les remplir, et l'autre moitié du laitier restera pour recouvrir le mélange. Cette quantité pourra, selon toute probabilité, subir une notable réduction. Tenons donc la proportion de 700 de laitier contre 1.000 d'acier, en poids, comme plus que suffisante pour satisfaire aux conditions d'un bon chargement.

Or, le vieux verre à bouteilles vaut à Paris 22 fr. les 1.000 kil., en gros. Le laitier de Couvin n'a coûté que les frais de transport, 15 fr. par 1.000 kil., et il en sera de même toutes les fois que l'on se trouvera à proximité de hauts fourneaux au charbon de bois. Dans ce cas, le prix du laitier peut descendre extrêmement bas. On devra seulement n'employer que des laitiers provenant de hauts fourneaux où l'on traite des minerais complétement exempts de soufre. Si l'on ne peut se procurer ni verre ni laitier, circonstance tout à fait exceptionnelle, il sera toujours facile d'en composer de toutes pièces avec un mélange de sable, d'argile et de calcaire, dosé de manière à contenir environ : silice, 0,60; chaux, 0,22; alumine, 0,12 à 0,15; les 5 à 6 p. 100 de surplus étant représentés par d'autres bases telles qu'oxyde de fer ou manganèse, etc. On pourra ajouter au mélange 1 ou 2 p. 100 de peroxyde de manganèse. Dans tous les cas, les seules conditions essentielles à remplir seront de choisir des sables, argiles et calcaires complétement exempts de pyrites de fer. Si l'on ne pouvait s'en procurer, on se débarrasserait du soufre en soumettant les matières grossièrement pulvérisées à un grillage opéré au moyen des flammes perdues d'un four de fusion ou d'un four à réchauffer. Le mélange destiné à former le laitier sera chargé sur la sole du four de fusion pendant la mise en feu de celui-ci et se liquéfiera promptement. Il en sera de même lorsqu'on renouvellera la charge de laitier. Le mélange introduit dans le four en pleine chaleur sera fondu et suffisamment rassis en 2 heures environ. Il est

inutile en effet, de faire subir à ces matières un raffinage prolongé comme celui du verre.

Quelle que soit l'origine des verres, laitiers ou matières destinées à les former, on peut être certain que le prix du laitier dans le four n'excédera jamais 25 fr. par 1.000 kil. Le plus souvent, il restera fort au-dessous de ce chiffre. Prenons-le néanmoins pour base d'évaluation. Nous avons vu qu'il suffira, et au delà, de 700 kil. de laitier pour protéger 1.000 kil. d'acier à fondre, et que ce laitier peut servir à huit fusions. Or, 700 kil. de laitier à 25 fr. la tonne représentent une valeur de 17f,50, qui est la dépense correspondante à huit fusions de 1.000 kil. Chaque tonne d'acier fondu exige donc une consommation de laitier égale en valeur au huitième de 17f,50, soit en chiffres ronds à 2f,20, ou 0f,22 par quintal métrique d'acier. Il est probable que dans la pratique on restera toujours bien au-dessous de ces chiffres. On voit donc que le maximum de 0f,25 que nous avons assigné à la consommation du laitier nécessaire pour fondre 100 kil. d'acier est suffisamment justifié.

Il ne nous reste plus qu'à établir le prix de revient de 50 fr. par 100 kil. que nous avons indiqué pour les grosses pièces d'acier puddlé fondues et martelées. Cela est facile, avec les éléments que nous avons précédemment posés. Nous raisonnerons dans l'hypothèse d'une usine placée sur un bassin houiller et pouvant obtenir de bonne houille tout venant à 15 fr. la tonne; d'un four de fusion ayant 1m,20 quarré de surface de grille, 3 mètres de surface de sole, brûlant par 24 heures de 6 à 7.000 kil. de charbon, et pouvant fondre à petite charge 1.000 kil. d'acier, et à pleine charge 1.500 kil., soit en moyenne 1.250 kil. Nous supposons que le four fera seulement trois fusions en 24 heures, ce qui est un minimum, ainsi que nous l'avons établi, et que la consommation de combustible sera de deux parties pour une d'acier liquéfié, y compris la mise en feu, à répartir sur la campagne, estimée à une durée de quinze jours,

Le service d'un four emploiera deux postes d'ouvriers, travaillant 12 heures chacun et ainsi composés :

Un chauffeur payé par jour 6 fr., un garçon de four payé 3 fr., un maître fondeur payé 6 fr. par jour. un aide fondeur payé 3 fr. Mais ces deux derniers ouvriers pourront desservir deux fours au moins, en ayant soin de ne pas faire coïncider les heures de chargement et de coulée. Leur besogne consiste en effet à faire le chargement, pour lequel ils seront aidés par le garçon de four et le chauffeur, et à percer le trou de coulée. Pendant tout le temps de la fusion, les fondeurs n'ont qu'à la surveiller, à sonder de temps en temps sur la sole, et à faire un ou deux brassages vers la fin de l'opération, si on le juge convenable. Pendant les 6 heures que durera la fusion, on voit qu'ils auront amplement le temps de faire la charge d'un second four, ainsi que la percée. Néanmoins, nous compterons pour un seul four la totalité du temps du fondeur et de son aide.

Cela posé, les frais de fusion pour 24 heures de marche, et abstraction faite du prix de l'acier, sur lequel nous reviendrons tout à l'heure, seront établis ainsi qu'il suit. Nous supposerons que la charge soit de 1.300 kil. d'acier ébauché en petits morceaux.

	fr.
Acier, 3 charges de 1,300 kil., 3.900 kil.	Mém.
Fraisil de charbon de bois pour l'échauffement préalable de l'acier, 2 hect. par charge, en tout 6 hect. à 0f,60	3,60
Houille, 2.600 kil. par charge, 7.800 kil. par 24 heures, y compris l'allumage, à 15 fr. les 1,000 kil.	117,00
Deux journées de chauffeur à 6 fr.	12,00
— de garçon de four à 3 fr.	6,00
— de maître fondeur à 6 fr.	12,00
— d'aide fondeur à 3 fr.	6,00
Entretien du four, évalué 10 fr. par tonne d'acier. . .	39,00
Laitier à 0f,25 pour 100 kil. d'acier.	9,75
Entretien, graissage et surveillance de la machine soufflante, évalués à.	6,00
Terre pour les bouchages, évaluée à	1,65
Total.	213,00

Tels sont les frais spéciaux correspondant à la fusion de 3.900 kil. d'acier brut, auxquels il conviendra d'ajouter les frais généraux de surveillance, d'administration et d'intérêts de capitaux. Nous admettons qu'il y ait, sur l'acier soumis à la fusion, un déchet de 5. p. 100 provenant des scories qu'il renferme, d'oxydation, de grenailles perdues, déchet correspondant pour 3.900 kil. à 195 kil., soit 200 kil. On aura donc obtenu 3.700 kil. d'acier fondu en lingots pour une dépense de 213 fr. en frais spéciaux de fusion. Ce résultat correspond, par tonne de lingots obtenus, à une dépense de 57f,60.

Il convient d'ajouter à ces frais ceux de la coulée proprement dite, qui sont les mêmes dans tous les modes de fusion. Ils consistent dans le torchage, le chauffage et la manœuvre des poches, le montage et le démontage des lingotières. Ces frais ne dépasseront certainement pas 10 fr. par 1.000 kil. de lingots.

Pour évaluer le prix de 1.000 kil. d'acier en lingots, il nous reste à indiquer celui de l'acier brut soumis à la fusion ce prix sera variable, suivant la qualité d'acier que l'on voudra employer. Néanmoins, nous considérons l'acier puddlé provenant de fontes au charbon de bois comme celui auquel notre procédé peut être appliqué avec le plus d'avantages. Or, l'acier puddlé provenant des fontes au bois du Berri, nous a été compté à l'usine de Montataire, au prix de 26 fr. les 100 kil., en barres ébauchées. Les fontes d'Ivoy reviennent à 18 fr. les 100 kil. dans cette usine, et en effectuant le décompte du prix de revient de l'acier puddlé d'après cette base, on reconnaît que le chiffre de 26 fr. est exact. Les fontes d'Ystalifera reviennent à 13 fr. les 100 kil. rendus à Montataire, ce qui correspond pour le prix de revient de l'acier à 21f,50. Nous raisonnerons dans l'hypothèse de l'emploi d'acier puddlé provenant de fontes du Berri ou du Périgord, et revenant en moyenne au prix de 26 fr. les 100 kil. en barres ébauchées décou-

pées à la cisaille en petits parallélipipèdes. Cela posé, le coût de la tonne d'acier fondu en lingots s'établira ainsi qu'il suit :

	fr.
1.050 kil. d'acier ébauché, en morceaux	273,00
Frais de fusion établis ci-dessus.	57,60
Frais spéciaux de coulée.	10,00
Frais généraux, surveillance, évalués	10,00
Total, prix de 1,000 kil. de lingots.	350,60

Il ne restera plus qu'à buriner, marteler ou laminer les lingots. Les frais de martelage et de laminage varieront suivant la forme plus ou moins compliquée des objets à produire, suivant la perfection et la puissance de l'outillage, enfin l'habileté du personnel. Nous pensons que des laminoirs très-puissants, pourvus de cages en fer forgé et de très-gros cylindres, seraient préférables aux marteaux pilons pour le cinglage et l'étirage des lingots. Dans tous les cas, on devra employer des pilons à mouvement rapide et à pression de vapeur au-dessus du piston, afin d'éviter des chaudes trop répétées. Nous pensons qu'avec ces appareils les grosses pièces d'acier telles qu'âmes de canons, plaques de blindage, boulets, arbres de couche, rails et contre-rails pourront être produits au prix suivant, calculé pour 1.000 kil. de pièces terminées :

	fr.
1.170 kil. d'acier en lingots à 350f,60 la tonne	410,00
1.500 kil. de houille à 15 fr. la tonne	22,50
Main-d'œuvre pour le chauffage.	2,30
Forgeage, six journées à 5 fr. l'une	30,00
Entretien des pilons et outils.	10,00
Surveillance et frais divers.	15,00
Total.	490,00
A déduire bouts d'écru et déchets à repasser au laminoir et au four de fusion, 100 kil. valant	20,00
Reste pour le prix de 1.000 kil. de pièces finies. . . .	470,00
Mais, comme on manquera inévitablement quelques pièces, nous ajoutons de ce chef 30 fr..	30,00
Et nous obtenons ainsi le prix de	500,00

pour la tonne de pièces d'acier fondu forgées.

Dans ce prix ne sont pas compris les frais généraux de l'usine, tels que direction, réparation des bâtiments, entretien des moteurs et chaudières, intérêts et amortissements de capitaux. Ces frais varient suivant l'importance de l'usine, le chiffre de sa production, les autres genres de fabrication qu'elle cumulera avec celui de l'acier fondu. Enfin, nous n'avons pas non plus compris dans cette évaluation le droit de patente pour l'emploi du procédé de fusion. Le prix de revient établi ci-dessus est donc celui que l'on obtiendrait dans une usine du gouvernement par exemple, dont les frais généraux et de direction ne seraient pas portés au compte de fabrication.

Si l'on parvient à faire des aciers puddlés de qualité suffisante avec des fontes au coke, le prix des pièces d'acier fondu forgées descendra bien au-dessous du chiffre de 500 fr. la tonne. On assure que ce problème a été complétement résolu en Belgique et en Angleterre; mais nous ignorons si ces aciers puddlés soumis à la fusion donneraient de bons produits, et si les fontes au coke françaises produiraient des aciers égaux à ceux de la Belgique. En supposant que l'on pût employer à la production de l'acier puddlé destiné à être fondu des fontes à 90 fr. la tonne, on obtiendrait l'acier puddlé ébauché à 140 ou 150 fr. la tonne, au lieu de 260 fr. Les 1.000 kil. de lingots descendraient à 222 fr. au lieu de 350, et les 1.000 kil. d'acier fondu forgé, à 350 fr. au lieu de 500. Ce sont là des résultats qui nous semblent possibles, et même probables, grâce aux progrès qu'a faits et que doit faire encore la fabrication de la fonte au coke. Enfin, on assure que l'on peut, par l'addition de certaines substances peu coûteuses, pendant la fusion, transformer les aciers puddlés ou même les fers les plus médiocres en aciers fondus d'excellente qualité. Nous croyons que ces procédés pourraient se combiner aisément avec notre mode de fusion; mais nous ne les connaissons pas suffisamment pour avoir pu les essayer.

Il est en effet impossible, d'après les descriptions des brevets pris pour cet objet, de discerner quelles sont, parmi les substances multiples dont l'usage est proposé, celles qui ont une action réelle, et d'en déterminer le dosage.

Nous n'avons pas pu marcher assez longtemps pour nous livrer à la fabrication des aciers par réaction de la fonte sur le fer et de l'oxyde de fer sur la fonte. C'est seulement par accident que nous avons employé de la fonte pour dissoudre les carcas ferreux restés dans notre four, et le résultat ainsi obtenu ne nous laisse pas de doute sur la possibilité de fabriquer des aciers au moyen d'un mélange de fer ébauché coupé en morceaux et de fonte mazée concassée. Le mazéage nous paraît un préliminaire indispensable de cette fabrication, même en employant les meilleures fontes. Sans cette épuration, en effet, la fonte contient encore trop de silicium pour donner de bons produits. C'est ce que prouvent des essais faits avant nous à Montataire, où l'on avait fondu au creuset environ 12.000 kil. d'acier puddlé avec addition de 8 à 15 p. 100 de fonte de l'Alélick. Les lingots obtenus se martelaient et se laminaient parfaitement, mais cet acier manquait de ténacité à froid. Il était sec et cassant. Étiré en barres plates pour ressorts de chemins de fer, il a résisté aux épreuves de la réception, mais au bout d'un certain temps de service toutes les feuilles se sont cassées, et l'on a dû renoncer à cette fabrication. En poussant le mazéage très-loin, ajoutant dans l'opération des scories riches et très-pures, on obtiendra de la fonte épurée et presque ramenée à l'état d'acier. Il suffira d'y ajouter ensuite 30, 40 ou 50 p. 100 de bon fer à grains ébauché pour la transformer complétement en acier de divers degrés de dureté.

Quant à la fabrication de l'acier par réaction de l'oxyde sur la fonte, bien que l'on puisse accidentellement obtenir des résultats passables, nous y avons moins de confiance que dans le mode précédent. Les minerais oxydés riches

employés comme réactifs renferment presque toujours trop de silice pour donner de bons résultats. Il faudrait donc recourir à de la ferraille ou de la fonte préalablement oxydées dans un four spécial de rôtissage. L'opération reviendrait alors aussi cher que le puddlage ou que l'emploi d'un mélange de fonte et de fer. De plus, la présence de l'oxyde de fer dans les matières soumises à la fusion doit exercer sur la sole et les parois du four une action qui en abrégerait beaucoup la durée. Une partie de l'oxyde passera aussi dans le laitier, qui devra être renouvelé beaucoup plus fréquemment.

En comparant le nouveau procédé de fusion à l'ancien, reposant sur l'emploi des creusets, on reconnaît qu'il présente les avantages suivants :

1° Économie d'environ 3/7 sur la consommation du combustible, économie qui sera probablement portée beaucoup plus loin.

2° Suppression complète des frais de creusets, s'élevant en moyenne à 30 fr. par tonne d'acier fondu.

3° Économie des 2/3 sur l'entretien des fours, réduit de 30 à 10 fr. par tonne d'acier fondu.

4° Économie des 4/5 sur la main-d'œuvre réduite de 50 à 10 fr. par tonne pour la fusion des gros lingots. A ce sujet, nous ferons remarquer que le chiffre de 25 fr. de main-d'œuvre par 1.000 kil. d'acier fondu au creuset, porté dans les prix de revient ordinaires des lingots, ne s'applique qu'aux lingots de 20 à 100 kil. et qu'il doit être à peu près doublé, lorsqu'il s'agit de couler, comme nous le faisons, des lingots de 1.000 à 3.000 kil. Il faut, en effet, dans l'ancien système, pour produire ces lingots, un personnel très-nombreux, afin d'enlever à la fois des centaines de creusets. Chez nous, il suffit de déboucher un trou de coulée.

5° Économie de plus des 2/3 sur les frais d'établissement des fours. En effet, il faut dix fours du système Ballefin pour en avoir quatre en activité constante, produisant cha-

cun à cinq coulées de 180 kil. par 24 heures, 900 kil. d'acier fondu. Les quatre fours marchant ensemble produiront donc, en 24 heures, 3.600 kil. d'acier fondu, c'est-à-dire un peu moins qu'un seul de nos fours. Dans notre système, pour tenir deux fours en marche constante, il suffira d'en avoir trois construits, dont un en réparation. Ces trois fours produiront autant que vingt fours Ballefin. Or, nos trois fours avec leurs cheminées et leur outillage coûteront au plus 30.000 fr., tandis que les vingt fours Ballefin, à 5.000 fr. chacun, représentent un déboursé de 100.000 fr.

6° Sécurité et salubrité pour les ouvriers. Rien de plus simple, en effet, que le chargement et la coulée dans notre système. Rien de plus pénible et de plus périlleux que l'arrachage et le transport des creusets dans l'ancien. Il faut que les ouvriers se couvrent de vêtements de toile mouillée pour braver le voisinage de la fournaise béante d'où l'on extrait les creusets, et les chances redoutables de la chute ou de la rupture de ceux-ci. Aussi ne peut-on employer à ce travail que des hommes d'une vigueur et d'une santé exceptionnelles.

En résumé, économie des 2/3 des frais de fusion, réduits à 5f,76 par 100 kil. au lieu de 20 fr.

Simplicité et facilité du travail; peines et dangers épargnés aux ouvriers.

Possibilité d'installer avec une faible dépense des fonderies d'acier produisant à bas prix les gros lingots, dont la fabrication n'était jusqu'ici accessible qu'à un petit nombre d'établissements :

Voilà, selon nous, les éléments de supériorité du nouveau procédé, dont l'applicabilité nous paraît démontrée par nos expériences.

Il ne nous reste, pour répondre à toutes les questions qui ont été adressées, qu'à indiquer la quantité maxima d'acier qui pourra être fondu dans le même four. Nous pensons qu'avec de bonnes houilles à longue flamme, on pourra

donner à la sole 3 mètres de longueur sur 2 mètres de largeur, correspondant, vu le rétrécissement vers le rampant, à une surface utile de 5 mètres carrés. Cette surface, à la charge de 500 kil. par mètre carré, peut recevoir 2.500 kil. d'acier, que l'on porterait aisément à 3.500 kil. Si l'on veut obtenir de plus forts lingots, rien n'empêche de réunir dans la même poche les coulées de deux ou trois fours, placés à proximité de la même grue. Avec quatre fours ainsi disposés, on coulerait aisément une pièce de 12.000 kil. Il est peu probable que l'on ait jamais à en fondre de plus considérables.

Tels sont les résultats des essais du nouveau procédé de fusion des aciers que la générosité éclairée de S. M. l'Empereur nous a permis de faire aux forges de Montataire, et les conclusions que nous avons cru pouvoir tirer de ces résultats. Nous sommes fermement persuadés que ces essais deviendront le point de départ d'un progrès sensible dans la métallurgie de l'acier.

Qu'il nous soit permis, en terminant, de rendre ici témoignage du concours éclairé et bienveillant que nous avons trouvé pour ces essais dans M. Gibon, ingénieur, directeur des forges de Montataire, qui a présidé à la construction des appareils et participé de sa personne à tous nos travaux, malgré ses nombreuses occupations. Nous sommes aussi heureux d'exprimer toute notre gratitude à M. Frölig, ancien directeur et actuellement administrateur résidant des forges de Montataire, et à M. Charpentier, ingénieur, dont la grande expérience et les sages avis nous ont été fort utiles. Enfin, nous nous faisons un devoir d'adresser nos remercîments au conseil d'administration de la société anonyme des forges de Montataire, et à M. Saint-Vigor, son directeur, pour la bonne grâce avec laquelle, sans aucune perspective de bénéfices, ils ont mis à notre disposition toutes les ressources des usines de la Compagnie.

ÉTAT PRÉSENT

DE LA MÉTALLURGIE DU FER EN ANGLETERRE (1).

PAR

M. GRUNER, ingénieur en chef des mines, professeur de métallurgie à l'École impériale des mines,

ET

M. LAN, ingénieur des mines, professeur de métallurgie à l'École des mineurs de Saint-Étienne.

TROISIÈME PARTIE.

(SUITE.)

TROISIÈME SECTION.

Partie économique de la fabrication des fers marchands.

Généralités : importance de la fabrication des fers marchands.

Proportion entre la fonte de moulage et la fonte d'affinage. — Les statistiques officielles ne donnent absolument rien sur la part des barres marchandes dans la production des forges : le produit total des hauts fourneaux y est seul en évidence. Les chiffres que nous rapporterons doivent donc être pris comme de simples approximations.

Les auteurs du voyage métallurgique, divisaient, en 1828, la production totale de la fonte en

55 à 60 p. 100 de fonte d'affinage.
40 à 45 p. 100 de moulages 1re et 2e fusion (2).

(1) Voyez, pour les deux premières sections de la troisième partie, la première livraison, page 115.

(2) *Voyage métallurgique*, 2e édition, tome I, page 229: les auteurs ajoutent même : ce rapport de la quantité de fonte moulée à la quantité de fonte affinée est peut-être un peu trop faible.

Si le rapport était exact à cette époque, il faut en conclure que la consommation des fers s'est, depuis lors, développée plus rapidement que celle de la fonte, ce qui s'explique au reste tout naturellement par l'établissement des rails-ways. Toutes les données que nous avons pu recueillir semblent effectivement démontrer que la production totale des hauts fourneaux anglais se divise aujourd'hui en :

70 à 72 p. 100 de fonte d'affinage.
28 à 30 p. 100 de fonte de moulage.

M. Blackwell, dans un opuscule déjà cité, estimait en 1851, que sur une production de 2.500.000 tonnes de fonte, 1/3 était exporté comme fonte brute ou converti en moulages, et 2/3 transformés en fer marchand ou ouvré; mais la proportion de 1/3 en fonte de moulage nous semble un peu trop forte.

D'après cela, des 3.500.000 tonnes de fonte livrées par les hauts fourneaux du Royaume-Uni en 1858, il en serait entré dans les forges environ 2.500.000 qui auraient produit près de deux millions de fer malléable.

Répartition du fer malléable entre les diverses classes. — Voici comment, à son tour, paraît se diviser ce dernier chiffre entre les principales fabrications dont s'occupent les forges :

	tonnes.
1° Fers en barres de toutes dimensions.	850 à 900.000
2° Rails et gros fers profilés	600 à 650.000
3° Tôles, fers noirs, fers blancs, etc. . .	450 à 400.000 (1)

Nous comprenons dans les fers en barres, les cercles,

(1) D'après les états statistiques dressés par l'administration des mines pour la période 1853-1859, voici quelles seraient les proportions des divers produits sidérurgiques en France:

Production de fonte brute : 8 à 850.000 tonnes par an, se divisant en 30 *à* 40 *p.* 100 *de fonte de moulage* 1re *et* 2e *fusion*, et 67 *à* 70 *p.* 100 *de fonte d'affinage;*

Production de fer malléable : 550 à 600.000 tonnes, se divisant

bandes et rubans, ainsi que les verges ou ronds de clouterie et tréfilerie dont nous parlerons plus tard. Mais même en enlevant cette dernière variété à la classe des fers en barres, on trouverait encore que celle-ci compose près de la moitié de la production totale des forges anglaises, c'est-à-dire de 750 à 800.000 tonnes.

Répartition de la production totale. — Les divers districts du Royaume-Uni concourent à cette production de fers en barres à peu près dans les proportions suivantes :

Staffordshire.	40 à 45 p. 100.
Sud du Pays de Galles. . .	15 à 20
Yorkshire et Derbyshire. .	25 à 30
Écosse et divers..	10 à 15

Marché régulateur des fers marchands. — On s'explique par là que le Staffordshire soit devenu le marché régulateur des barres marchandes. Il y a dès lors intérêt à examiner plus spécialement les conditions économiques de ce district. C'est ce que nous ferons dans un premier chapitre. Dans les suivants, nous passerons rapidement en revue l'Écosse, le Pays de Galles et le Cleveland. Dans un cinquième et dernier chapitre, nous donnerons quelques indications sur le coût des dimensions extras et nous terminerons par le tableau des prix courants en 1860.

---

en 60 *à* 65 *p.* 100 *de fers marchands;* 20 *à* 25 *p.* 100 *de rails;* 10 *à* 20 *p.* 100 *de tôles, fils de fer, etc.*

Les moulages comprennent la fonte de provenance étrangère importée par les usines de 2[e] fusion; notre consommation de fonte de moulage devient ainsi comparable à celle de l'Angleterre. Nous fabriquons proportionnellement plus de barres marchandes que nos voisins, ce qui tient sans doute à la part importante (1/3 environ) que les fers au combustible végétal ont conservée dans notre production. Observons cependant que la proportion des rails va toujours croissant: de 20 p. 100 en 1853, elle est de 25 en 1858.

CHAPITRE PREMIER.

STAFFORDSHIRE.

---

§ 1. *Organisation spéciale des forges de ce district.*

Causes et effets de la concurrence. — L'extrême morcellement des mines, la multiplicité des usines de moyenne importance (1), voilà deux traits généraux du Staffordshire qu'on connaît déjà. Il en est un troisième à signaler en ce qui concerne spécialement les forges : c'est leur séparation d'avec les hauts fourneaux et les mines. La fabrication du fer, dans cette contrée, est le plus souvent une industrie distincte qui s'alimente de matières premières, houilles, fontes, etc., aux cours du marché.

De là une concurrence des plus actives qui, jointe à des circonstances dont il sera bientôt question, a aggravé beaucoup les crises périodiques du commerce des fers. Chacune de ces crises a donné lieu à des liquidations forcées où les hauts fourneaux et les forges restaient entre les mains des banquiers, garantie trop souvent insuffisante des capitaux avancés par ceux-ci.

Deux classes de forges. Première catégorie. — Ces établissements étaient, aux époques de reprise industrielle, pris à bail par des entrepreneurs qu'encourageait la hausse des prix. Des spéculateurs, munis d'un très-petit fonds de roulement, parfois même d'un capital d'emprunt, trouvaient là un moyen facile de s'improviser maîtres de

---

(1) On compte dans le Staffordshire (South-Staffordshire) 109 forges, dont quelques-unes ont jusqu'à 60 et 56 fours à puddler ; mais ce sont des exceptions : il y en a beaucoup plus de celles qui n'ont que 20 à 40 et même de 10 à 30 fours. D'après M. Hunt, les 109 forges existant dans ce district en 1858 comprenaient, en tout, 1.945 puddlings, c'est-à-dire une moyenne de 19 à 20 fours par établissement.

forges. Cette organisation, avouée pour quelques forges, dissimulée pour d'autres, semble très-fréquente dans le Staffordshire, surtout depuis 1857, date de la dernière crise américaine.

Il faut savoir l'existence de cette première catégorie de forges pour bien apprécier l'allure de la fabrication dans ce district. La précipitation de leurs ventes paraît être, en effet, pour beaucoup dans la persistance des bas cours depuis quelques années. En outre, limitées par la faiblesse de leurs capitaux et par les obligations toujours onéreuses de leurs emprunts, ces forges ont cherché l'abaissement des prix de revient dans l'emploi de matières premières moins choisies. L'usage des fontes à doses plus ou moins élevées de scories de forge s'est développé très-rapidement sous cette influence. Il en résulte que la marque du Staffordshire n'est plus aujourd'hui une garantie suffisante pour le consommateur. Il n'y a de sécurité pour lui que dans le nom du fabricant.

Seconde catégorie. — Il est heureusement un assez grand nombre d'usines qui, à cet égard, font contraste avec les précédentes. Ce sont, en général, les plus considérables : parmi elles, il en est même plusieurs qui sont organisées comme les grandes entreprises du Pays de Galles, c'est-à-dire qui ont, à la fois, mines, hauts fourneaux et forges. Elles roulent avec leurs propres capitaux et soit par cette cause, soit par les soins qu'elles continuent à donner à la qualité, elles luttent contre l'avilissement des prix.

Les forges de cette seconde catégorie ne font figurer dans leur prix de revient aucun intérêt de capitaux et parfois même elles comptent la fonte et la houille aux prix auxquels elles leur reviennent. Les premières, au contraire, achetant fontes et houilles sur le marché, les portent sur leur comptabilité chargées déjà des bénéfices que comportent les cours. Les fréquentes locations d'usines per-

mettent d'un autre côté de fixer assez exactement la part de frais attribuables à ce chapitre. Nous avons donc, dans les prix de revient que nous allons rapporter, fait figurer les bénéfices sur matières premières et les intérêts de capitaux : ainsi complétés, les prix de revient nous ont paru donner une mesure plus exacte des conditions économiques du Staffordshire.

§ 2. *Conditions de la main-d'œuvre; organisation intérieure des ateliers.*

Le Staffordshire, le district du Royaume-Uni où la fabrication du fer marchand date de plus loin, possède le personnel le plus apte au travail des forges. L'ouvrier y est non-seulement habile, mais encore très-énergique. C'est dans cette contrée que les forges récentes du Cleveland et de l'Écosse ont puisé leur personnel. C'est donc là qu'il faut chercher les éléments d'une comparaison dont il a été souvent question, savoir : de la comparaison des ouvriers anglais avec ceux d'autres pays sous le rapport de la capacité de travail.

Aux renseignements qu'on trouverait déjà dans les détails de fabrication exposés précédemment, ajoutons un tableau du personnel dans une des forges du Staffordshire où le travail nous a paru mené *au maximum d'activité.*

Dans l'impossibilité de rencontrer une forge qui produisît exclusivement des fers marchands, nous avons dû prendre l'exemple d'un atelier où à côté de barres de première classe, on fabriquait des tôles de diverses dimensions.

La production annuelle, *en roulement continu*, était de

	tonnes.		liv.		tonnes.		kil.
1° Barres puddlées	15.009	de	2.400	ou	16.000	de	1.015
Produits finis.							
2° Grosses tôles (plates)					3.000		—
3° Moyennes *id.* (singles).					3.000		—
4° Minces *id.* (doubles et lattens).					1.500		—
5° Barres finies (1re classe). . . . . :					5.000		—

La qualité de ces produits était plutôt inférieure que supérieure à la marque *« bon ordinaire. »* du Staffordshire. Peu de best, mais au moins un tiers en qualités médiocres de fontes blanches ou truitées, le reste provenant de fontes grises ou truitées-grises de minerai houiller. Peu de tôles de chaudières martelées, presque toutes ces tôles, minces ou épaisses, étant laminées d'une seule chaude, par conséquent aussi de petites dimensions.

Dans ces conditions, la production totale de 12.500 t. occupait le personnel suivant par vingt-quatre heures.

1° *Atelier de puddlage.*

30 fours en marche sur 33 que possède l'usine.

	Ouvriers.		Ouvriers.
Puddleurs	60	*Report.*	143
Aides	61	Gamins	10
Marteleurs	6	Mécaniciens et chauffeurs	4
Aides	4	Peseurs de fontes et barres brutes	2
Presseurs au squeezer	2	Aides et manœuvres	11
Lamineurs et aides	10		
A reporter.	143	Nombre total.	170

2° *Atelier de finissage.*

3 laminoirs à 2 fours ; 1 laminoir à 1 four.

	Fers en barres.	Tôle n° 1.	Tôle n° 2.	Tôle n° 3.	Observations.
Paqueteurs	1	1	(a) »	»	
Aides	1	7	»	»	
Réchauffeurs	4	2	2	2	
Aides	2	2	2	»	
Gamins	2	»	2	»	
Lamineurs	2	2	2	2	
Aides	6	10	4	2	
Gamins	12	»	»	2	
Cisailleur	1	1	1	1	
Peseur	1	»	»	»	
Aides	2	6	5	6	
Mécaniciens	2 (b)	»	»	»	
Peseur	»	1	(c) »	»	
Aides	»	3	»	»	
Totaux	36	35	18	15	

(a) Pour les trois ateliers de tôlerie.
(b) Pour une machine commune aux quatre ateliers et alimentée par des chaudières à flammes perdues.
(c) Pour les trois tôleries.

A ce personnel spécial s'ajoutaient les ouvriers accessoires suivants :

Manœuvres, employés à la calcination des scories de forge pour bull-dogs	4
Maître forgeron 1 et aides 4	5
Maître maçon 1, aides 3, manœuvres 6	10
Maître menuisier ou charpentier et aides	2
Mécanicien en chef; aides 2 (chargés de la surveillance et de l'entretien des machines et de l'outillage; le tournage des cylindres est fait par les chefs lamineurs)	3
Manœuvres pour manutentions diverses à l'intérieur de la forge	10
1 Contre-maître (*forge manager*), surveillant, etc., distribuant le travail	1
Total	35

La direction technique ou administrative et les bureaux comprenaient :

Un directeur (*manager*).

Un receveur contrôleur.

Un caissier comptable.

Un ou deux employés de bureau.

(Cette consistance des bureaux ne comprenant pas l'agence commerciale, qui, comme cela arrive souvent, embrassait plusieurs forges pareilles).

Le personnel ouvrier était donc de trois cent six hommes, pour une production totale de 12.500 tonnes. Ajoutons que le temps du travail effectif n'était que de cinq jours pleins par semaine. Dans toutes les forges du Staffordshire, et par imitation, en Écosse et dans le Cleveland, le travail s'arrête le samedi à deux heures et ne reprend que le lundi suivant à la même heure. La journée du dimanche est consacrée au repos et les réparations se font dans la nuit du dimanche au lundi ou dans la matinée du lundi.

Production par homme et par an. — Il en résulte que l'année ne comporte guère que deux cent cinquante jours de

travail effectif. Mais la production de 12.500 tonnes suppose que ces deux cent cinquante jours sont employés en entier par tout le personnel : elle suppose une régularité de commandes, dans chaque spécialité de la fabrication, qui réduit au minimum le temps perdu en fausses manœuvres. C'est grâce à ces conditions qu'on atteint le chiffre de 40 tonnes par ouvrier.

Comparaison de la production des forges anglaises et françaises. — Si l'on veut maintenant comparer ces résultats à ceux qu'obtiennent nos forges, qu'on ne perde pas de vue ces données essentielles, non plus que les dissemblances qu'offrent forcément, dans la nature des fabrications, les usines mises en parallèle.

Nous sommes portés à croire que les auteurs du *Voyage métallurgique* ont trop négligé ce point de vue, lorsqu'ils ont écrit (1) :

« Les nouvelles forges françaises emploient donc deux fois
» plus d'ouvriers que les forges anglaises, et par suite la
» main-d'œuvre est plus chère en France qu'en Angleterre,
» quoique dans les usines de ce dernier pays, les salaires
» soient plus élevés que dans le nôtre. »

Cette opinion a été souvent reproduite depuis, et cependant elle nous semble inexacte, au moins dans le sens absolu où elle a été prise.

Les auteurs du *Voyage métallurgique* arrivaient à cette conclusion en observant qu'une forge galloise produisait 10.000 tonnes avec un personnel de cent quarante-cinq ouvriers, tandis que, pour la même production, il fallait quatre cent quarante-cinq ouvriers à deux forges françaises. Mais il y a là une première erreur : on voit, page 235 du même ouvrage, que le personnel anglais comprend en sus des cent quarante-cinq hommes, cinq femmes et cinquante-cinq enfants. C'est donc deux cents ouvriers et non cent

(1) *Voyage métallurgique*, 2e édition, tome I, page 259.

quarante-cinq qu'il faut compter pour 10.000 tonnes, c'est-à-dire 50 tonnes par ouvrier et par an, au lieu de 63. En second lieu, les forges françaises qui, suivant les mêmes auteurs, produisaient seulement 23 tonnes par homme, fabriquaient-elles les mêmes produits que la forge galloise à laquelle on les compare? En tous cas, les forges françaises nouvellement construites, n'avaient alors certainement ni l'assiette ni la continuité de roulement des établissements anglais.

Mais, raisonnant sur l'époque actuelle, nous pourrions citer des usines françaises où chaque homme donne aujourd'hui de 30 à 35 tonnes environ de produits à peu près semblables à ceux de la forge du Staffordshire qui nous sert d'exemple. Et ce ne sont ni les mieux outillées ni les plus assurées de commandes régulières. Le jour où, spécialisant leur travail, elles fonctionneraient à plein roulement, la différence qui les sépare des forges anglaises serait vite rachetée et nos ouvriers cesseraient d'être réputés inférieurs à ceux d'Angleterre.

Observons encore, à l'appui de ce que nous avons dit ailleurs (1), que cette différence dans les productions spécifiques des deux pays correspond à très-peu près à la différence des salaires. On a ainsi la mesure exacte de l'influence du manque de régularité dans le roulement de nos forges : il y annule le bénéfice de l'infériorité des salaires. Dans presque tous les prix de revient que nous rapporterons bientôt, on constatera en effet que les frais définitifs de main-d'œuvre par tonne de fers finis sont, chez nos voisins, à peu près les mêmes que chez nous.

Consistance du personnel de direction. — La consistance du personnel de la direction et des bureaux mérite une attention particulière. Ce n'est pas un fait isolé ou spécial aux forges de Staffordshire; on le retrouve dans presque

(1) Première partie de ce travail, chap. II : main-d'œuvre.

tous les districts anglais. Aussi les frais généraux, en dehors des intérêts de capitaux, déjà fort diminués par des productions considérables, sont-ils ramenés à leur plus simple expression par la réduction du personnel supérieur.

Cette réduction tient, en ce qui concerne les forges, au mode de distribution de travail dans les ateliers.

Distribution du travail à l'entreprise. — Chaque catégorie de travaux se donne non pas à prix fait, mais, plus exactement, *à l'entreprise*, à un chef ouvrier qui, arrêtant lui-même le nombre et le choix de ses aides, fixe également la journée de chacun d'eux. C'est, en réalité, un maître, aidé d'apprentis, auquel on fournit les outils et les matières premières à pied-d'œuvre ; un entrepreneur dont l'intérêt, conforme à celui du maître de forge, est engagé à la rapidité et à la perfection du travail (1).

Cette organisation du travail réduit singulièrement le nombre des ouvriers qui dépendent de la surveillance du manager ou du contre-maître. La comptabilité de la main-d'œuvre en est par suite extrêmement simplifiée.

D'un autre côté, les comptes-matières eux-mêmes ne comportent que le strict nécessaire. L'arrivage général des matières premières par canaux et chemins de fer et les pesages préalables qu'il exige abrégent le contrôle d'entrée dans l'usine. Les livres de fabrication n'offrent que fort rarement ces divisions par catégories de produits qu'on observe ailleurs. C'est aux chefs ouvriers ou aux contremaîtres qu'il faut demander les détails des produits et consommations de chaque nature de travail. C'est également au chef maçon ou au chef mécanicien qu'il faut s'adresser pour connaître le profil d'un fourneau ou les dimensions d'une machine.

---

(1) Il semble y avoir là comme un souvenir du compagnonage qui ne laisse pas d'offrir un certain intérêt dans un pays de grandes manufactures comme l'Angleterre.

Certes, à voir les résultats économiques de ce système, c'est-à-dire la réduction de frais qu'il comporte, on ne saurait s'empêcher de lui reconnaître de sérieux avantages. Il y a néanmoins dans cette absence d'attention aux détails de la fabrication une confiance trop absolue dans l'immobilité des procédés, une confiance qui touche de bien près à la routine. C'est certainement à ces particularités de l'organisation des forges anglaises qu'il faut attribuer la lenteur avec laquelle y pénètrent les changements ou améliorations depuis longtemps adoptés ailleurs.

Influence du système des entreprises sur les fluctuations de la main-d'œuvre. — Encore un mot au sujet de l'influence qu'exerce cette organisation des ateliers sur les fluctuations de la main d'œuvre. Les prix d'entreprise par catégories de travaux, voilà les seuls éléments de discussion entre patrons et ouvriers; il en résulte une grande simplicité de relations des uns avec les autres. Dans le Staffordshire, comme dans tous les autres districts du Royaume-Uni, ces prix haussent ou baissent selon la prospérité du commerce des fers, ou mieux, restant nominalement constants, ils subissent des réductions variables avec le prix des fers (1). A ces oscillations correspondent naturellement des variations dans les prix de journées des aides ou manœuvres de chaque atelier, mais le maître de forges n'a généralement pas à s'en préoccuper.

En réduisant ainsi le nombre des ouvriers avec lesquels les maîtres de forges ont à débattre les conditions de la main-d'œuvre, le système des entreprises a, pour ceux-ci, des avantages évidents en temps normal. Mais que les ouvriers se croient autorisés à réclamer un accroissement

(1) A l'époque de notre voyage, juin 1860, la baisse persistante des fers depuis deux ou trois ans avait déjà fait adopter dans quelques usines une réduction de 1/20 sur la plupart des prix d'entreprise que nous avons ci-dessus indiqués. Cette réduction a dû s'accroître notablement depuis.

où à refuser une réduction de prix, c'est l'inverse : moins nombreux, ils s'entendent mieux, et le moyen extrême, la grève, s'applique ici avec la même facilité que dans les exploitations de mines ou dans les fonderies.

§ 3. *Exemple de loyer d'usine; intérêts des capitaux.*

La forge dont nous avons rapporté la consistance et le personnel est bâtie sur un terrain loué par le propriétaire du sol pour soixante ou soixante-cinq ans. Le maître de forges qui l'exploite l'a prise en location avec faculté d'agrandissement, faculté dont il a usé pour porter la consistance au double de ce qu'elle était lors du contrat. Or la rente pour le bail de l'usine primitive était de 800 liv. par an : estimé au même taux, le loyer total serait donc de 1.600 liv., qui capitalisées à 5 p. 100 correspondraient à 32.000 liv., soit de 8 à 900.000 fr. de premier établissement. C'est là, remarquons-le bien, un minimum, car la rente relative à la moitié de la forge récemment construite devrait se compter à plus de 800 liv. Sauf cette réserve, admettons donc 1.600 liv. à répartir sur la production annuelle, à titre de loyer d'usine.

Les fers puddlés (n° 1), les ballés ou ébauchés (n° 2) étant, dans le Staffordshire, objets d'un commerce plus ou moins développé, il convient de leur attribuer comme aux produits finis une part des frais de loyer. Avec la production ci-dessus indiquée de 28 à 28,500t de ces diverses sortes, les 32,000 sh. de loyer font 1 sh. 1 d. environ par tonne de 1,015 kil. ou 1 sh. 2 d. par 2,400 livres. C'est le chiffre que nous admettrons dans ce qui va suivre.

Intérêts du fond de roulement. — Les frais d'intérêts du fond de roulement dépendent beaucoup du taux de l'escompte commercial. Les appels aux banques sont très-fréquents dans le Staffordshire et l'élévation du taux de l'escompte y est presque toujours le signal d'une baisse des prix, c'est-à-dire d'une précipitation plus grande des ven-

tes. Nous adopterons pour taux moyen le chiffre de 4 p. 100, mais en rappelant les fluctuations que nous avons signalées à ce sujet dans la 2e partie de ce travail (chapitre de l'Écosse). Remarquons aussi que c'est à défaut de donnée plus certaine que nous prenons ce chiffre pour taux d'intérêt du fond de roulement. Il est peut-être un peu bas, vu les difficultés particulières du commerce des fers.

§ 4. *Prix des matières premières.*

Nous pourrions renvoyer, quant à ce point, à ce qui a été dit dans la 2e partie, mais nous reproduirons les prix des principales matières premières, en observant que ce sont des prix de vente. Ils comprennent donc les intérêts de capitaux et les bénéfices des mines et fonderies, autant du moins que le permettent les circonstances commerciales.

	liv.	sh.	d.	
1° *Les fontes grises* pour marques « bon ordinaire » du Staffordshire coûtaient, rendues en forge, au mois de juin 1860	3.	15.	»	les 2.400 livres
Idem. du Staffordshire, du Cumberland, du Shropshire, etc., pour marques supérieures	4.	»	»	—
Idem. Fontes truitées ou blanches pour marques inférieures, 2 liv. 10 sh. à	3.	»	»	—
2° *Les riblons*, 1re qualité, 4 liv. 10 sh.; *Id.* médiocres 2 à	3.	»	»	
3° *La houille*, grosse et moyenne (Lumps), 7 sh. à	»	7.	6	—
Idem. menue de chaudières (Slack)	»	2.	6	—
4° *Le minerai* d'entretien des soles (Froghall)	»	21.	»	—
5° *Les scories de forge* liquatées (Bull-dogs), 12 sh. à	»	14.	»	—

§ 5. *Prix de revient des produits intermédiaires et finis.*

I. *Fer brut* (puddled bars).

Marque « bon ordinaire. »

		liv.	sh.	d.
Fonte, 1t,10 à 3 liv. 15 sh.		4	2	6
Houille : gros, 1t,08 à 7 sh. 6 d.		»	8	1
Menu, 0t,30 à 2 sh. 6 d.		»	0	9
Main-d'œuvre.	Puddlage. . . . . . 8 sh. 6 d. Martelage. . . . . . 1 sh. 9 d. Laminage. . . . . . 1 sh. 3 d. Divers. . . . . 1 sh. 6 d.	»	13	»
Report		5	4	4

A reporter	5	4	4
Entretien des soles, défalcation faite des riblons, vieilles fontes et scories retirées du travail (1)	»	5	6
Frais généraux (general charges) (2)	»	6	»
Frais spéciaux par 2.400 liv.	5	15	10
Loyer d'usine	»	1	2
Intérêt du fonds de roulement à 4 p. 100 pendant six mois	»	2	4
Prix de revient total par tonne de 2.400 liv.	5	19	4

Observations. — Qu'au lieu de fontes à 3 liv. 15 sh., on soumette au puddlage des fontes à 4 liv.; — que le martelage et le cinglage soient plus soignés et, par suite, les déchets un peu plus forts et des frais de main-d'œuvre plus élevés de 1 ou 2 sh., le prix de revient des puddled-bars s'élèvera à 6 liv. 5 sh. et même à 6 liv. 10 sh.

Au contraire, avec des fontes à 2 liv. 10, un puddlage plus rapide, un cinglage à la presse, ce coût descend dans quelques forges à 4 liv. 15 ou 5 liv. au plus.

Nous n'avons point fait, dans ce compte ni dans le suivant, la réduction du 1/20 sur la main-d'œuvre, réduction qu'on faisait déjà dans quelques forges en 1860. En l'adoptant, on arriverait à un prix de revient définitif de 1 à 1 sh. 1/2 plus faible que celui que nous donnons dans le paragraphe suivant.

II. *Fer en barres finies* (merchant bars).

	liv.	sh.	d.
Fer puddlé, 1t,16 à 5 liv. 19 sh. 4 d.	6	18	5
Houille : 0t,50 à 7 sh. 6 d. (chaudières à flammes perdues)	»	3	6
Main-d'œuvre totale	»	12	»
Frais généraux et entretien, composés comme au puddlage	»	6	»
Total des frais spéciaux par 2.400 liv.	8	»	2
Loyer d'usine	»	1	2
Intérêts du fonds de roulement	»	3	3
Total	8	4	7

(1) Détail des frais d'entretien des fontes :

	sh.	d.
Minerais de Froghall, 0t,10 à 21 sh.	2	1 1/2
Bull-dogs, 0t,32 à 14 sh	4	5 1/2
Main-d'œuvre d'approchage et menus frais	»	1
Total	6	8
A déduire : scories, riblons, vieilles fontes	1	2
Reste	5	6

(2) Détail des *general charges* :

	sh.	d.
Fournitures de magasin	»	10
Briques, argile, sable, etc.	»	11
Moulages et cuivre	»	8
Entretien des mécanismes	2	8
Salaires et appointements	»	10
Impôts et frais divers	»	6
Total	6	»

A défalquer : rognures, rebuts et scories	»	8	»
Revient à l'usine des 2.400 liv.	7	16	7
Idem. des 1.015 kil.	7	5	5

Observations. — Il s'agit là de barres obtenues de paquets en fer puddlé et de fontes moyenne qualité. Avec des fers puddlés à 6 liv. 5 ou 6 liv. 10, dont une partie serait préalablement ballée, on arriverait aux prix de revient de 8 liv. 5 à 8 liv. 10.

On calculera aisément aussi de combien s'élèvent ces prix, quand on prépare les fers de riblons (scraps iron), pour les diverses sortes de Best. Les revients oscillent alors entre 8 liv. 10 et 9 liv. 10 sh.

Enfin, avec des fers puddlés à 4 liv. 15 ou 5 liv., on fabrique des barres communes à 6 liv. 10 ou 6 liv. 15.

Pour rendre ces prix de revient comparables aux prix de vente, il faudrait encore ajouter de 5 à 10 sh. pour transports jusqu'au marché, soit un prix de revient définitif de 7 liv. 10 à 7 liv. 15, ou bien 185 à 190 fr. les 1.000 kil.

§ 6. *Comparaison de ces prix de revient à ceux des époques antérieures.*

Il faut d'abord se souvenir, au sujet de cette comparaison, que le prix des fontes varie avec celui des fers. Ainsi en 1860 les fers se vendant 7 liv. 10, les fontes correspondantes se cotaient 3 liv. 15, tandis qu'en 1856 les premiers se payaient 9 liv. et les secondes 4 liv. à 4 liv. 10.

Avant donc de comparer les prix de revient actuels à ceux de l'époque *du voyage métallurgique*, par exemple, rappelons qu'alors les fontes grises d'affinage valaient 4 liv. (Voyez p. 32, tom. II de cet ouvrage). De même les auteurs de ce travail comptent la houille à 6 sh., lorsqu'elle en vaut 7 1/2 aujourd'hui.

Les prix rapportés pour 1828 sont de 6 liv. 10 sh. 10 d. 1/2 les 2,400 livres de fer puddlé et 8 liv. 1 sh. 4 d. le fer fini, de marque ordinaire. En ajoutant à ces chiffres les loyers d'usines et intérêts du fonds de roulement qui n'y sont pas compris, on arrive à 6 liv. 14 ou 6 liv. 15 sh. et à 8 liv. 8 sh. ou 8 liv. 9 sh. la tonne de 2,400 livres.

Remarquons que l'écart des prix de revient du fer puddlé en 1828 et en 1860 serait de 15 sh., tandis que l'écart des prix du fer fini ne serait que de 11 à 12. Il doit y avoir quelque erreur dans le prix de revient du fer fini cité dans le *Voyage métallurgique.* En jetant les yeux sur le dé-

tail du coût des fers marchands (p. 118, t. II) que les auteurs donnent même comme celui de la verge de fenderie, on voit qu'ils ne comptent pour *laminage et fenderie* que 7 sh. par 2.400 liv. Comme les chiffres de main-d'œuvre qu'ils citent à l'article du fer brut, ne semblent point établir qu'elle fût notablement moins élevée alors qu'aujourd'hui, on peut en induire que le chiffre de 7 sh. est trop bas. L'écart des prix de revient des deux époques doit donc être pour le fer fini au moins de 15 sh. comme pour le fer brut.

Causes de l'abaissement des prix de revient. — De la comparaison de nos tableaux avec ceux du *Voyage métallurgique*, n'en ressort pas moins cette conséquence: c'est à la suppression du mazéage et à l'abaissement du prix des fontes qu'il faut surtout attribuer la différence en faveur des revients actuels.

Après tout ce qui a été dit précédemment, il n'est pas besoin de se demander si les produits des deux époques sont comparables sous le rapport de la qualité. A cet égard, l'opinion même des maîtres de forge du Staffordshire est bien franchement pour la négative.

§ 7. *Débouchés et modes de vente du Staffordshire. Prix des fers: bénéfices des maîtres de forge aux diverses périodes de ce siècle.*

Le comté du Staffordshire, situé au centre de l'Angleterre, à 150, 200 ou 220 kilomètres des ports de *Liverpool*, *Cardiff*, *Newport*, *Londres et Hull*, est naturellement privé des facilités pour le commerce d'exportation qui caractérisent les autres districts du Royaume-Uni. Ce bassin houiller, celui peut-être de toute l'Angleterre où la richesse souterraine est la plus condensée, semblait donc condamné à ne prendre qu'une part fort réduite au mouvement industriel de ce siècle. Ses débouchés semblaient limités à son propre territoire et aux comtés voisins.

Industries secondaires établies dans le Staffordshire dès la fin du siècle dernier. — Cependant déjà dès la fin du siècle dernier la fabrication du fer y était liée à des industries d'ouvraison comme *la clouterie*, *la taillanderie*, *la tréfilerie*, *la casserie*, etc., qui étendait notablement son rayon d'écoulement. Alors déjà ces ateliers secondaires étaient nombreux autour de *Birmingham*, *Duddley*, *Stourbridge*, etc. : ils absorbaient une bonne part des fers forgés du Staffordshire, part d'autant plus grande que la production de ceux-ci était alors plus réduite. Après les transformations profondes que les progrès de la mécanique ont opérées dans ces sortes d'industries, on est même étonné de retrouver, encore aujourd'hui, aux alentours de Duddley, des fabriques de clous à la main, roulant parallèlement à ces immenses clouteries mécaniques que l'on visite aux portes de Birmingham. Les premières ne diffèrent pas des secondes par les moyens d'ouvraison seulement, mais encore par la qualité du fer mis en œuvre. Les élaborations multipliées par lesquelles passait le métal dans ces anciennes fabrications réclamaient de la qualité, et c'est à cette première influence qu'il faut, sans contredit, attribuer la spécialité des forges du Staffordshire : la fabrication de bonnes barres marchandes.

Développement des industries d'élaboration secondaire. — Grâce aux progrès incessants que les découvertes des Watt et des Arkwright déterminèrent dans les industries de la laine et du coton, à ces premiers débouchés s'en joignirent bientôt d'autres plus importants. Les nombreux ateliers de construction de machines et de métiers mécaniques, qui surgirent à la suite de ces découvertes, réclamaient encore des fers de bonne qualité.

Plus tard les perfectionnements de la grande industrie des transports par terre et par eau provoquèrent un nouvel accroissement de la consommation des bonnes barres marchandes. C'est pendant cette dernière période que *Wed-*

nesbury, *Wolverhampton*, etc., ont vu naître et grandir leurs ateliers de forgerie proprement dite.

Ces nouveaux ateliers d'ouvraison, autrement importants que les anciens, durent satisfaire d'abord aux demandes du réseau ferré anglais et aux besoins tous les jours croissants des filatures du Lancashire et du Yorkshire. Peu à peu aussi on y vit affluer les commandes étrangères, les commandes des pays qui prenant à l'Anglèterre ses procédés industriels, devaient lui emprunter en même temps les outils nécessaires à leur exécution.

Ainsi, grâce à la transformation des fers en objets ouvrés, machines, métiers, etc., le Staffordshire (et avec lui une partie du Yorkshire, le West-Riding) sortait des limites du marché intérieur pour affronter le commerce d'exportation qui lui semblait d'abord interdit.

Ainsi se constituait, en un mot, ce groupe industriel unique au monde, où se trouvent les villes les plus populeuses et les plus riches après Londres. *Birmingham* et ses annexes, débitant le fer sous forme d'outils, d'instruments, pièces de forge, ustensiles, etc.; *Leeds* et *Manchester*, l'une avec ses lainages, l'autre avec ses cotonnades, toutes deux avec des ateliers de construction qui n'ont de comparables, pour le nombre et l'importance, que les filatures qu'elles desservent en moteurs et métiers; *Liverpool*, enfin, qui entretient la production de toute cette contrée par un mouvement sans arrêt d'importations et d'exportations; Liverpool, peu à peu agrandi jusqu'au rang des premiers ports du monde, et où se concentre tous les jours davantage le commerce de cette région occidentale du Royaume-Uni, au grand détriment de Londres lui-même.

En mettant en présence ces industries si diverses, nous ne voulons que faire sentir l'appui mutuel qu'elles se sont prêté dans leurs développements. Nous voulons montrer comment un district, en apparence beaucoup plus mal placé

que tous les autres, a pu suivre et même dépasser ceux-ci dans les progrès de l'industrie du fer.

Organisation industrielle du Staffordshire applicable à plusieurs de nos districts de forges. — C'est là un exemple d'organisation industrielle qui montre ce que peuvent devenir les débouchés intérieurs sous l'influence d'un commerce étendu. Nous y insistons, persuadés que nous sommes de la possibilité, pour quelques-uns de nos districts, d'entrer dans cette voie. Mais, sans sortir du sujet qui doit nous occuper ici, remarquons que la conservation de la qualité est une des premières conditions de succès dans les industries d'ouvraison du fer. C'est là ce qui a déterminé, répétons-le, la spécialité des forges du Staffordshire.

Dans cette spécialisation du travail, jointe d'ailleurs à un mouvement commercial énorme, ce district devait trouver un autre avantage: celui d'exporter directement une partie de ses fers marchands, désormais classés au premier rang parmi ceux d'Angleterre. Les mêmes contrées qui recevaient les objets ouvrés prirent l'habitude de se servir des barres marchandes: par là, le Staffordshire devint, comme il a été déjà dit, le marché régulateur des fers en barres, destinés soit à la consommation intérieure, soit à la consommation extérieure.

Tentatives infructueuses des autres districts pour s'approprier la spécialité du Staffordshire. — Ce n'est pas qu'à diverses reprises, d'autres districts anglais, l'Écosse et le pays de Galles surtout, n'aient tenté de partager avec le Staffordshire les bénéfices de cette spécialité. Tout récemment encore la restriction de plus en plus marquée du marché des rails, objet particulier de leur fabrication, a provoqué chez quelques grandes forges galloises, la reprise de ces essais. Jusqu'ici le succès a mal répondu à ces efforts, soit que, comme en Galles, le fer équivalent à celui du Staffordshire ressortît à un prix trop élevé, soit que, comme en Écosse, le personnel spécial des forges fît défaut.

Nature des débouchés. — Cherchons maintenant quels ont été les résultats de l'industrie des forges dans le Staffordshire.

Nous avons montré déjà les causes de la concurrence ardente qui, presque de tous temps, a régné entre les producteurs de ce district; nous avons dit aussi le caractère de gravité que, par cette cause, les crises du commerce des fers y avaient revêtu. La nature des débouchés, ouverts aux fers marchands et ouvrés, comportait des dangers d'un autre ordre, avec lesquels les forges n'ont eu que trop souvent à compter.

Les fers du Staffordshire, même les bonnes marques, sont inférieurs aux fers au bois et à la plupart des fers puddlés de fontes au bois du continent. On aura remarqué, de plus, que les prix de revient anglais s'élèvent rapidement à mesure que les produits sont plus élaborés : leurs différences avec les prix de revient du continent s'amoindrissent dès que la part de la main-d'œuvre y devient plus importante.

Débouchés différents des fers marchands et des fontes. — Il résulte de là une dissemblance notable entre la fonte et le fer marchand. La fonte, qui n'est encore qu'une sorte de matière première, se produit en Angleterre à des prix bien inférieurs à ceux du continent, et la qualité y est, pour nombre d'usages, parfaitement suffisante. Le fer, outre qu'il est de qualité médiocre, se vend trop cher déjà pour pénétrer sur les marchés d'Europe, où des droits plus ou moins élevés, joints aux frais de transport, protégent encore les fers indigènes.

De là vient que, si les fontes anglaises s'écoulent en forte proportion sur le continent européen, les fers marchands et ouvrés du Staffordshire se dirigent plutôt sur les marchés de *l'Amérique*, *des Indes*, *de l'Australie* : ils servent d'échange au coton et aux autre matières premières que l'Angleterre tire de ces régions lointaines. Ajou-

tons que la consommation du fer paraît l'emporter de beaucoup sur celle de la fonte dans ces contrées encore peu avancées.

A l'appui de ces aperçus, citons les principales exportations du Royaume-Uni en fonte et en fer; prenons, par exemple, deux des années les plus prospères de la dernière période décennale: 1855 et 1856. Voici les chiffres que M. R. Hunt rapporte, pour ces deux années, pages 82 et 83 de la statistique générale de 1856:

PAYS où se dirige l'exploitation.	FONTES.		FERS EN BARRES (a).	
	1855	1856	1855	1856
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Etats-Unis d'Amérique	58.102	58.000	195.294	227.475
Colonies du Nord de l'Amérique	6.644	12.428	24.617	32.617
Colonies des Indes orientales	1.358	3.039	88.547	111.762
Colonies de l'Australie	1.061	2.989	11.990	19.241
Brésil	1.963	1.851	5.554	12.711
Totaux	69.128	78.307	326.002	403.806
France	78.201	84.923	60.730	70.490
Hollande	36.617	54.258	18.393	15.039
Prusse	35.141	39.296	5.486	7.304
Villes Anséatiques	17.987	25.845	11.886	24.605
Danemark	12.673	22.118	5.221	8.700
Italie	12.043	10.868	16.359	37.394
Hanovre	9.687	11.930	7.025	4.620
Espagne et Canaries	6.609	9.451	5.556	11.078
Portugal, Açores, etc.	1.937	2.951	7.353	7.765
Norwége	3.358	5.579	498	737
Turquie	2.521	1.105	10.696	8.696
Egypte	»	»	»	11.410
Suède	»	2.241	»	8.452
Totaux	216.774	270.565	149.203	216.290

(a) Les tableaux de M. R. Hunt comprennent, sous le nom de *Bar Iron*, les rails, tôles, etc., comme les fers en barres proprement dits: les fils de fer seuls figurent à part sur les états statistiques.

Ainsi l'Europe absorbe les trois quarts de la fonte exportée d'Angleterre, lorsqu'elle ne prend que le tiers environ de ses barres: encore sur ce tiers voyons-nous figurer, pour la moitié à peu près, des pays qui produisent peu de fers marchands, ou qui se sont mis de bonne heure sous la dé-

pendance commerciale de l'Angleterre (*villes Anséatiques, Italie, Portugal, Espagne, Turquie.*)

Au contraire, l'Amérique et les colonies anglaises consomment les deux tiers des barres anglaises livrées au commerce extérieur, tandis qu'elles ne reçoivent qu'un quart à peine de l'exportation des fontes.

Les expéditions de fers ouvrés se partagent à peu près dans le même rapport entre l'Europe et les autres parties du monde.

Ainsi donc: *à la fonte* le marché à petite distance, solide et sûr de l'Europe; *aux fers marchands et ouvrés* le marché lointain, toujours incertain et branlant de l'Amérique, de l'Australie et des colonies. Rappelons d'ailleurs que l'exportation pour l'Amérique va en diminuant depuis plusieurs années.

Différence entre le commerce des fontes et celui des fers en barres. — Une dernière circonstance nous reste à citer pour compléter cette esquisse des conditions générales du commerce des fers marchands. Ceux-ci ne comportent pas, et les fers ouvrés encore moins, cette simplicité de vente, qui facilite l'écoulement des fontes d'Écosse. Le travail en stock, s'il n'est pas impossible, est du moins beaucoup plus dangereux avec les premiers qu'avec les secondes. En d'autres termes, le commerce des fers n'inspire pas aux capitaux volants, à la spéculation, cette confiance par laquelle nous avons vu, en Écosse, la fabrication des fontes se soutenir pendant des crises même assez prolongées. Si, pendant les périodes difficiles, certains maîtres de forges persistent à maintenir au lieu de modérer la production, c'est à l'aide de moyens qui, nous le montrerons bientôt, portent en eux-mêmes une quasi-certitude de ruine pour ceux qui s'en servent.

Prix de vente des fers marchands. — Auparavant disons quelle a été la prospérité des forges du Staffordshire

sous l'influence des conditions générales que nous venons d'exposer.

On en peut prendre un premier aperçu à l'aide du tableau des prix courants, depuis le commencement de ce siècle, tableau publié le 7 avril 1860 par le *Mining-Journal.*

On y voit d'abord que, de 1820 à 1830, les hauts prix de 12 à 15 et même de 17 à 18 liv. disparaissent pour ne plus revenir. Les prix de revient des époques antérieures à cette date étaient certainement supérieurs à ceux que nous avons cités pour 1828 et pour 1860. Néanmoins il est bien évident qu'avec ces hauts prix de vente, les bénéfices des maîtres de forges devaient être fort considérables.

A partir de 1830, les prix de vente dépassent rarement 10 liv.; d'abord voisins de 9 liv., ils descendent successivement entre 8 et 9 de 1830 à 1840, puis entre 6 et 7 de 1840 à 1850. Ils oscillent autour d'une moyenne de 8 liv. de 1850 à 1860; on entrevoit à peine le maximum de 10 liv. aux instants les plus brillants de cette dernière période.

A ne juger que par les moyennes décennales du *Mining-Journal*, on conclurait donc que, sauf de 1840 à 1850, les prix de vente (1) sont demeurés notablement supérieurs aux prix de revient rapportés précédemment : l'excédant aurait varié de quelques shillings à 1 liv. et demie, atteignant même, mais par courts intervalles, le chiffre de 2 à 3 liv. par tonne de 1.015 kil. Cet excédant constituerait un vrai bénéfice, à ajouter aux intérêts de capitaux déjà comptés dans les prix de revient.

---

(1) Nous supposons que les prix de vente du *Mining-Journal*, comme tous ceux dont il sera question plus loin, sont les prix officiels du marché. Il faudrait donc en déduire un escompte variable de 2 à 4 p. 100 et se souvenir, en outre, que les payements se font à trois mois, quelquefois à quatre, ici comme dans la plupart des forges du Royaume-Uni.

Les mêmes moyennes montrent au contraire que, la constance du prix de revient étant implicitement admise, les maîtres de forges auraient été en perte permanente de 1 liv. à 1 liv. et demie pendant la décade 1840-50.

Mais si l'on se reporte à ce qui a été dit précédemment de l'indépendance fréquente des fonderies et des forges, des variations simultanées des prix de la fonte, de la houille, du fer et de la main-d'œuvre, ces pertes et bénéfices ne sont point attribuables aux seuls maîtres de forges : ils ont dû se partager entre les exploitants de mines, les fondeurs, les maîtres de forges et les ouvriers, dans des proportions qu'on ne saurait retrouver aujourd'hui.

Fluctuations comparées du prix des fers en France et en Angleterre depuis le commencement de ce siècle. — On peut tirer de la comparaison des prix courants pendant cette durée d'un demi-siècle, des indications plus intéressantes encore. Il suffit pour cela de tracer la courbe continue de ces prix : on obtient, par là, une représentation fidèle de toutes les fluctuations commerciales.

La *fig.* 12, Pl. III, est le tableau synchronique du cours des fers laminés au bois et au coke en France et en Angleterre (1).

L'inspection de ce tableau fait voir l'influence qu'exerce une concurrence active sur les fluctuations des prix : rien

---

(1) Nous devons ce tableau à l'obligeance de MM. Salmon, marchands de fers à Paris. La ligne relative au marché de Liverpool a été tracée sur des documents anglais, et nous avons eu l'occasion d'en vérifier l'exactitude par un tableau du même genre que nous devions à MM. *Biddulph*, *Wood et Jevons et Cie*, maison de commission des plus importantes de *Swansea* et *Liverpool*. Ces prix diffèrent un peu de ceux du *Mining-Journal*. Cela peut tenir à ce que ceux-ci se rapportent au marché de Londres et les premiers au marché de Liverpool. Un troisième tableau que nous avons pu nous procurer à Glasgow comporte quelques différences aussi avec ces deux premiers; mais elles sont, au reste, à peu près insignifiantes.

de plus frappant à cet égard, que le défaut de parallélisme des deux lignes françaises avec la ligne anglaise pendant la période de 1835 à 1845. Alors que les cours du marché anglais subissaient non-seulement des oscillations fréquentes, mais encore une baisse de 60 à 70 p. 100, nos prix restaient sensiblement les mêmes ou ne fléchissaient que lentement et de 45 p. 100. La mobilité du marché commence cependant chez nous lorsque la fabrication au combustible minéral a pris décidément le pas sur la fabrication au bois, c'est-à-dire, lors de la mise en roulement des nombreuses usines à la houille créées de 1840 à 1848 et, postérieurement, de 1852 à 1856. Aussi voit-on le parallélisme des trois courbes de plus en plus marqué, à dater de 1847. Néanmoins les alternatives continuent à être plus fréquentes, plus rapprochées, dans les cours anglais que dans les nôtres : il y a entre eux simultanéité quant aux mouvements généraux, mais encore une certaine indépendance dans les oscillations à courts intervalles.

Deux sortes de fluctuations du prix des fers en Angleterre. —Les forges anglaises sont exposées à deux sortes de fluctuations : *les unes*, qui se rattachent aux mouvements généraux du commerce et qui atteignent simultanément tous les marchés du globe ; *les autres*, qui affectent plus spécialement le marché anglais.

Les premières, conséquences des crises commerciales, alimentaires, politiques, etc., reviennent tous les cinq, six ou huit ans avec un cachet de périodicité remarquable. *Les secondes* sont mensuelles, hebdomadaires, parfois même diurnes : elles tiennent aux particularités du marché anglais que nous avons exposées ci-dessus, c'est-à-dire à l'extrême concurrence des producteurs, à l'extension et à la mobilité des débouchés.

Prospérité des forges bien conduites. — La périodicité des fluctuations générales n'échappe point aux maîtres de forges prudents. Ils ont appris depuis trente ans que tout prix

supérieur à 8 liv. (20 francs les 100 kil.) n'a qu'une durée éphémère de deux, trois ou quatre ans à peine. S'il importe alors de donner à ses moyens de fabrication le maximum d'activité, il faut savoir aussi se garder des excès d'immobilisation en créations nouvelles, destinées à accroître la production; car cet accroissement de production n'aura déjà plus raison d'être quand les créations nouvelles seront prêtes à fonctionner. Les maîtres de forges habiles évitent également toutes négociations qui tendraient à les engager au delà de la durée que comportent les périodes prospères.

Sous ces conditions, les prix de 8 à 10 liv. font compensation à ceux de 6 à 8: or, en le considérant d'ensemble, le tableau graphique montre que pour l'espace de 1825 à 1860, le chiffre de 8 liv. serait à peu près la moyenne générale des prix de vente. Rapproché de nos prix de revient, il aurait donc laissé un bénéfice moyen de 5 à 10 sh., en sus des intérêts de capitaux.

En fait, c'est là un minimum qu'ont toujours dépassé les producteurs du Staffordshire qui ont fait preuve de prudence.

Réduisant à propos leur production, ils vendent plus à haut qu'à bas prix. Demeurés fidèles à la qualité, ils obtiennent, en temps de crises, des prix supérieurs à la cote officielle. Appuyés sur une réputation non démentie, ils se maintiennent en rapport direct avec les gros consommateurs ou avec les meilleures maisons de commission de *Londres*, *Liverpool*, *etc.* Roulant enfin avec leurs propres capitaux, ils n'acceptent que les ventes fermes.

Le Staffordshire compte bon nombre d'établissements qui ont prospéré grâce à cet esprit d'ordre, à cette intelligence des mouvements commerciaux. Mais non moins nombreux peut-être sont les maîtres de forges qui, trop confiants dans la durée des époques de hausse, ont mal à propos escompté un avenir incertain, et demandé au crédit les sommes nécessaires à des développements intem-

pestifs de leurs entreprises. Les baisses de 1840-45 et de 1847-52 ont déterminé la chute de beaucoup d'affaires ainsi constituées. De ces deux époques datent les liquidations forcées qui ont donné naissance à ces maîtres de forges improvisés dont il a été question au § 1 du présent chapitre. Ceux-ci, en fait d'opérations commerciales, suivent un mode à peu près inverse de celui que nous avons exposé plus haut. C'est à cette classe d'industriels qu'on doit parfois ces ventes à tous prix dont se préoccupaient les fabricants français, lorsqu'il a été question pour eux d'ouvrir la lutte avec l'Angleterre.

Fermiers des banques pour le matériel, ces maîtres de forges comptent, pour le fonds de roulement, ou sur l'emprunt, ou sur les ressources de *la vente en consignation*. Ce dernier système s'est beaucoup répandu dans le Staffordshire, depuis quelques années.

Abus du commerce sur consignations dans les forges de la seconde catégorie. — Aussi longtemps qu'on se borne à user de ce moyen commercial, sans demander aux marchandises consignées des avances de fonds exagérées, il n'offre peut-être point de dangers sérieux : il sert, en réalité, à parfaire un capital roulant à des entreprises qui en manquent. Malheureusement il ne semble pas avoir été pratiqué toujours avec la réserve convenable par quelques forges du Staffordshire. Nous ne voulons pas attribuer à ce système de vente ce qui n'en est que l'abus, c'est-à-dire l'usage immodéré du règlement en papier, les traites d'acceptation pour livraisons fictives, etc., etc., tous moyens dont ne sauraient user que des entreprises aux abois, espérant ainsi traverser une période critique. Mais si tous ces dangers ne dérivent pas forcément du système des consignations, il faut néanmoins reconnaître qu'il y conduit aisément. Pratiqué surtout vis-à-vis d'un marché incertain, comme celui de l'Amérique et des colonies, il a dû produire souvent des effets pareils.

On comprend, par là, pourquoi les industriels de vieille réputation condamnent ce système et déplorent les habitudes commerciales qu'il introduit sur les marchés. Ils lui reprochent de prévenir les demandes des consommateurs et de provoquer l'avilissement des prix. Enfin ce serait aux ventes sur consignations, autant qu'à l'inhabileté des spéculateurs trop impatients au gain, qu'il faudrait attribuer les nombreux sinistres qu'a vus le Staffordshire depuis la fin de 1859.

Ce que nos maîtres de forges doivent craindre du commerce des fers anglais. — Quant aux craintes manifestées en France, au sujet de la tendance de certaines forges à vendre à tout prix, elles sont en grande partie chimériques. Ces ventes ne s'appliquent qu'aux fers réellement inférieurs, dont le placement n'est possible que dans les contrées lointaines où la concurrence est nulle ou à peu près. L'appât du bon marché pourra tenter une fois peut-être le consommateur français; mais la seule marque acceptable, en concurrence avec nos fers indigènes, est celle qui vaut 7 liv. 1/2 à 8 liv. au port anglais. Or, répétons-le, en terminant le chapitre du Staffordshire, les chiffres de 7 liv. à 7 liv. 10 sh. nous semblent des prix de revient au-dessous desquels ce district descendra difficilement à l'avenir. L'épuisement tous les jours plus marqué de ses mines, la résistance de plus en plus vive des ouvriers à la baisse des salaires, sont des causes suffisantes pour maintenir, sinon pour surélever, ces prix de revient.

CHAPITRE II.

ÉCOSSE.

§ 1. *Importance actuelle des forges écossaises. Leur organisation, main-d'œuvre, etc.*

Jusqu'aujourd'hui la fabrication du fer s'est peu développée en Écosse. Le petit nombre de forges qu'on y a éta-

blies depuis une vingtaine d'années ont eu principalement pour but d'alimenter la consommation locale. Il est vrai que celle-ci s'est accrue et s'accroît encore tous les jours, en même temps que les ateliers de construction maritime de la Clyde et du Forth. Mais sur une production totale de près de un million de tonnes, en fontes de divers numéros, on n'en affine guère que 130 ou 150.000 au plus pour barres marchandes et autres sortes.

Modifications que comporte leur consistance actuelle. — Les circonstances qui ont déterminé et maintenu cette organisation de l'industrie écossaise pourraient bien changer à l'avenir, ainsi que nous l'avons fait pressentir, en parlant des fontes de moulage. Déjà même quelques grandes fonderies, qui avaient renoncé à la fabrication du fer, y sont revenues. Les difficultés croissantes de l'écoulement d'une production énorme en fonte brute, la possibilité d'obtenir des blackbands des qualités très-comparables aux bonnes marques du Staffordshire, l'arrivage facile des fontes du Lancashire et du Cumberland, destinées à l'amélioration des qualités, les bas prix des matières premières, enfin la possibilité de consommer sur place des proportions croissantes de fer et, en tous cas, les facilités extrêmes offertes à son exportation, voilà autant de causes qui hâteront sans doute les développements des forges écossaises, malgré les difficultés de recrutement du personnel.

Les forges d'Écosse ne rappellent pas seulement celles du Staffordshire par la qualité des fers, mais aussi par leur organisation même. La plupart sont indépendantes des fonderies qui, concurremment avec les hauts fourneaux du Cumberland et du Lancashire, les alimentent en fontes grises, numéros 2 ou 3 à 5. Le personnel ouvrier, originaire du Staffordshire, a conservé l'organisation et les habitudes de travail dont il a été question au chapitre précédent. Nous admettrons enfin, à cause de ces premières similitudes, les mêmes chiffres qui ont été comptés, dans

les prix de revient du Staffordshire, pour les loyers d'usine et l'intérêt du fonds de roulement.

Les différences principales entre les deux districts commencent aux prix des matières premières. Citons les deux sortes principales :

	liv.	sh.	
Les fontes du Cumberland, rendues en forge, coûtaient en Ecosse, en 1859 et 1860, 3 liv. 4 sh. à	3.	8	les 1.015 kil.
Idem d'Ecosse, pour affinage, 3 à 4 sh. de moins que les fontes de moulage correspondantes, soit, en moyenne.	2.	12	—
La houille, généralement exploitée par les maîtres de forge eux-mêmes, leur revient à 4 sh. 1/2 ou 5 sh. tout au plus la tonne; mais, comme quelques-uns l'achètent, nous la compterons, comme le coke, au prix du marché de Glasgow, c'est-à-dire le gros et moyen, 6 sh. à	»	7	la tonne.
le menu, 2 sh. 9 d. à. . .	»	3	—
le coke (mazéage)	»	15	—

§ 2. *Prix de revient des divers produits : fonte mazée, fer puddlé et barres marchandes.*

1° *Fonte mazée.*

	liv.	sh.	d.
1t,11 fonte brute à 52 sh.	2	17	9
0t,40 de coke à 15 sh.	»	6	»
Main-d'œuvre.	»	2	4
Entretien, frais divers et généraux.	»	2	»
Intérêts de capitaux.	»	2	»
Total par 1.015 kil.	3	10	1

Observation. Il faut se souvenir qu'on ne maze qu'une partie des fontes d'Écosse : celles du Cumberland et du Lancashire ne sont pas soumises à cette opération.

2° *Fer puddlé.*

	liv.	sh.	d.
1t,10 de fonte brute et mazée à 3 liv.	3	6	»
1t,15 de houille à 6 sh.	»	6	11
Main-d'œuvre.	»	13	»
Entretien des soles des puddlings.	»	5	»
Frais d'entretien, bureaux (*general charges*)	»	6	»
Revient spécial par 1.015 kil.	4	16	11
Loyer d'usine.	»	1	1
Intérêt du fonds de roulement.	»	2	»
Revient total par 1.015 kil	5	»	»

Observation. Cet exemple se rapporte au cas d'une forge qui traitait un mélange de 1/3 de fonte de Cumberland à 65 sh. et 2/3 de fonte d'Écosse. Enfin on mazait un peu plus du tiers de celle-ci, ce qui faisait ressortir le mélange de puddlage à 3 liv. la tonne, à très-peu près.

Les meilleures sortes de fers puddlés écossais, ceux obtenus exclusivement de fontes du Cumberland ou de floss mazé, coûtent 5 liv. 5 sh. à 5 liv. 15 sh.

2° Barres marchandes.

	liv.	sh.	d.
1t,15 de puddled bars à 5 liv.	5	15	»
0t,50 de houille à 7 sh.	»	3	6
Main-d'œuvre.	»	12	»
Frais généraux, entretien, etc.	»	5	»
Revient spécial des 1.015 kil.	6	15	6
Loyer d'usines et intérêts.	»	4	»
Total.	6	19	6
A défalquer pour rognures, rebuts, etc.	»	7	»
Revient des 1.015 kil. en forge.	6	12	6
Id. au port de Glasgow, 6 liv. 14 sh. à	6	15	»
Id. des 1.000 kil. en francs.	167f,60		

Observation. Il s'agit toujours là de paquets en barres puddlées, dont les couvertes seulement sont ballées. Mais pour Best ou Best-Best, indépendamment du fer puddlé à 5 liv. 5 sh. ou 5 liv. 15 sh., on emploie dans les paquets des proportions plus élevées de ballages, ce qui accroît les prix de revient et les porte à 7 liv. 10 sh. ou 8 liv.

Les forges écossaises auraient donc sur celles du Staffordshire le double avantage d'un prix de revient plus bas en forge et de frais de transports moins élevés jusqu'à la mer. On a par là une mesure de la concurrence que les premières peuvent faire aux secondes sur les marchés extérieurs. En fait, antérieurement au traité de commerce entre la France et l'Angleterre, notre littoral de l'Océan avait reçu plus de fers d'Écosse que du Staffordshire. Le Havre et Rouen particulièrement semblent avoir donné la préférence à ces produits.

§ 3. *Débouchés, prix de vente, bénéfices des maîtres de forges.*

Production des forges écossaises. — Les forges écossaises, au nombre de cinq ou six principales, produisent de 100 à 120.000 tonnes de fers de diverses sortes, mais il ne paraît pas y avoir là-dessus plus de 70 à 80.000 tonnes de barres marchandes.

Exportation. — Sur la production totale, un quart (c'est-à-dire de 25 à 30.000 tonnes) s'écoulent par exportation; voici les principales expéditions étrangères pour 1859 :

Amérique britannique.	7.325	tonnes.
Indes orientales.	7.299	—
Espagne et Portugal.	3.314	—
France (*ports de l'Océan*).	2.813	—
Allemagne, Danemark, etc.	1.962	—

Les débouchés locaux conservent donc plus d'importance en Écosse que dans le Staffordshire. Aussi par ce premier motif les prix de vente y sont-ils beaucoup moins variables dans l'un que dans l'autre district. Une autre raison de cette constance relative des prix se trouve dans la faible concurrence que se font des usines peu nombreuses, dont la production dépasse à peine les besoins toujours croissants de la consommation intérieure.

Écart exceptionnel entre les prix des fontes et des fers. — L'indépendance des maîtres de forge écossais vis-à-vis des fondeurs donne aux premiers un autre avantage : ils profitent des baisses fréquentes que provoque la spéculation sur les prix des fontes de moulage. Aussi l'Écosse présente-t-elle, à certains moments, cette circonstance particulière d'un écart entre les prix des fers et celui des fontes notablement supérieur à ce qu'il est partout ailleurs dans le Royaume-Uni.

Les procédés de fabrication sont peut-être en Écosse plus généralement soignés qu'ailleurs : sauf une ou deux forges qui sont liées à des hauts fourneaux, on n'emploie point de scories de forge dans les lits de fusion. Les corroyages au marteau y sont bien pratiqués. Néanmoins, il n'y aurait point dans la perfection du travail de quoi motiver cette particularité de l'écart entre la fonte et le fer de ce district. Elle tient principalement, répétons-le, à l'indépendance du commerce des fontes et des fers, aux spéculations surtout que comportent les premières.

Bénéfices des maîtres de forges. — Dans ces conditions générales, on voit aisément que le maître de forges d'Écosse doit faire des bénéfices généralement plus élevés que celui du Staffordshire. Et, en effet, pendant des années de langueur relative, comme 1856 et 1860, des barres coûtant 6 liv. 15, se vendaient, 7 liv. 5 à 7 liv. 10 sh. avec escompte ordinaire : soit un bénéfice de 10 à 15 sh. par 1.015 kil. en sus des intérêts de capitaux.

CHAPITRE III.

CLEVELAND ET DURHAM.

Proportions des divers produits du Cleveland et du Durham. — La fabrication des barres marchandes est encore plus accidentelle dans le Cleveland et dans le Durham qu'en Écosse. Les quelques grandes forges, établies dans cette région orientale de la Grande-Bretagne, se sont outillées spécialement pour la fabrication des rails et des tôles communes. Citons comme exemple, l'une des plus considérables, dont la production en 1859 se divisait en :

10 pour 100 de fers en barres.
30 pour 100 de tôles.
60 pour 100 de rails.

Production totale. — Si ces proportions étaient générales, il en résulterait que sur une production totale de 180 à 200.000 tonnes de fer malléable, ce groupe ne donnerait que 18 à 20.000 tonnes de barres. La moitié environ serait exportée et le reste consommé dans les environs. Encore dans ces 20.000 tonnes, faudrait-il comprendre une certaine quantité de barres communes qui rappellent les qualités de Galles plus que celles du Staffordshire ou de l'Écosse. Nous pensons cependant que la proportion totale de barres marchandes est un peu plus élevée.

Au reste, sauf les seuls produits de la forge de Tudhoé, les qualités dans le Cleveland et le Durham sont inférieures et insuffisantes pour la fabrication des fers de petit échantillon.

Diverses qualités fabriquées dans ce district. — *Les meilleures marques* proviennent, nous l'avons déjà dit, de fontes grises, brutes ou mazées, à peu près comme en Écosse. Dans le Cleveland, on paraît seulement faire un emploi moins fréquent des fontes grises d'hématite. Les

matières premières sont peut-être de qualité un peu inférieure à celles d'Écosse, mais elles coûtent moins cher.

Les fontes grises n°s 3 et 4, base de cette fabrication, valaient en 1859 et 60 de 48 à 49 sh. la tonne, au lieu de 52 sh. en Écosse.

La houille *noisette* coûte, rendue dans les forges du Durham, 4 sh. la tonne, et le menu, 2 sh. 6 d.; dans celles du Cleveland, 5 sh. la houille *noisette* et 3 sh. 6 d. à 4 sh. le menu.

Prix de revient. — Les prix de main-d'œuvre par catégories de travaux sont sensiblement les mêmes que dans les deux chapitres précédents:

Dans ces conditions, les prix de revient, intérêts de capitaux compris (1), sont de 3 liv. 3 sh. à 3 liv. 5 pour la fonte mazée; de 4 liv. à 4 liv. 10 pour le fer puddlé, et 6 liv. à 6 liv. 10 sh. pour les barres marchandes de première classe, provenant de mélanges de 1/4 à 1/3 fin métal et 3/4 à 2/3 fonte brute.

Par l'emploi exclusif de fontes mazées ou par le puddlage direct des fontes chaudes n° 1 et n° 2, on prépare des barres dites Cleveland-best, à un prix qui atteint 6 liv. 15 à 7 liv. les 1.015 kil.

Bénéfices des maîtres de forges. — Les marques ordinaires se sont vendues, en 1859-60 : 6 liv. 10 sh. à 7 liv., et les Cleveland-best, 7 liv.. 10, c'est-à-dire le prix des marques « *bon ordinaire* » du Staffordshire.

Les bénéfices des maîtres de forges du Cleveland se seraient donc élevés à 10 ou 15 sh. pour l'une et pour l'autre variété, c'est-à-dire à un chiffre à peu près égal à celui de l'Écosse, malgré l'avantage de matières premières à plus

(1) En raison de la date récente de leur création, les forges du Cleveland et du Durham font figurer dans leurs prix de revient des intérêts de capitaux plus élevés que ceux comptés dans le Staffordshire.

bas prix. Il faut voir là une preuve de l'influence persistante de la nature des matières premières sur le résultat final de la fabrication du fer. (Voyez ce qui a été dit de l'infériorité des minerais du Cleveland, page 101.)

Concurrence que ce district peut faire au pays de Galles pour les marques communes. — Nous avons dit ci-dessus que les forges du Cleveland et du Durham fabriquaient aussi *des fers communs* analogues aux qualités ordinaires de Galles. On les y obtient également de fontes blanches provenant de lits de fusion à scories de forge : ils reviennent moins cher que dans le pays de Galles, car le coût total, y compris les intérêts de capitaux, est de 5 liv. 15 sh. 4 d. 2/10, tandis que celui des barres ordinaires de Galles est de 5 liv, 15 sh. 4 d. 36/100 sans aucun intérêt, ni sur les houilles, ni sur les minerais, fontes, etc. Le Cleveland serait donc en mesure de faire au pays de Galles une rude concurrence sur ces fers communs comme elle la lui fait déjà sur les rails.

CHAPITRE IV.

SUD DU PAYS DE GALLES.

Importance de la production. — Nous insisterons peu sur les conditions économiques des forges galloises, au sujet des fers marchands, nous proposant d'y revenir à propos des rails, produit beaucoup plus ordinaire de ce district. On a vu effectivement que la production des fers en barres n'y dépasse pas 100 à 130,000 tonnes.

Prix des matières premières. — Rappelons seulement que dans la comptabilité du pays de Galles, les matières premières sont portées à leurs prix de revient :

1° *Les fontes* : à 2 liv. 10 ou 3 liv. les 2.400 liv., selon que les lits de fusion dont elles proviennent sont plus ou moins chargés de scories.

2° *La houille* (tout-venant assez gros) : à 4 ou 5 sh. les 2.400 liv.

§ 1. *Prix de la fonte mazée.*

	liv.	sh.	d.
Fonte brute et vieux moulages, $1^t,110$ à 2 liv. 10 sh. 9 d.	2	16	4
Houille pour coke, $0^t,420$ à 4 sh.	»	1	8
Main-d'œuvre	»	2	6
Fournitures et frais généraux	»	1	3
Total	3	1	9
A déduire pour vieux moulages et scories	»	1	»
Revient des 2.400 liv.	3	»	9

Observation. Il s'agit d'un mazéage de fonte blanche avec chargement en fonte froide. Avec des fontes de meilleure qualité à 3 liv., le fin métal revient à 3 liv. 12 sh. Nous avons relevé des prix de revient de 3 liv. 15 sh. et 4 liv. pour fers marchands ou couvertes de rails.

§ 2. *Prix de revient des deux variétés principales de fer brut.*

Marque la plus commune.				*Marque ordinaire.*			
Fonte brute :	liv.	sh.	d.		liv.	sh.	d.
$0^t,80$ à 2 liv. 10 sh.	2	»	»	$0^t,56$ à 3 liv.	1	13	7 2/10
Fin métal :							
$0^t,33$ à 3 liv. 9 d.	1	»	» 48/100	$0^t,55$ à 3 liv. 12 sh.	1	19	7 2/10
$1^t,13$				$1^t,11$			
Houille (puddlage et machine) :							
1 tonne à 4 sh.	»	4	»	1 tonne à 4 sh. 6 d.	»	4	6
Main-d'œuvre	»	9	»		»	8	6
Fournitures et frais généraux	»	4	»		»	5	»
Total	3	17	» 48/100		4	11	2 4/10
A déduire : scories, vieux moulages et vieux fers	»	1	6		»	2	»
Revient des 2.400 liv.	3	15	6 48/100		4	9	2 4/10

Observation. On ne distingue pas, dans la comptabilité des usines, le fin métal qui passe au puddlage, mélangé à de la fonte brute, de celui qu'on affine quelquefois seul pour couvertes de paquets.

§ 3. *Prix de revient des fers marchands.*

Marque la plus commune.	liv.	sh.	d.	*Marque ordinaire.*	liv.	sh.	d.
1t,19 de fer puddlé à 3 liv. 15 sh. 6 d. 48/100	4	9	10,71/100	1t,16 à 4 liv. 9 sh. 2 d. 4/10.	5	3	5,66/100
0t,60 de houille à 5 sh.	»	3	»	0t,50 à 5 sh. 6 d.	»	2	9
Main-d'œuvre	»	11	»	. . . .	»	9	6
Frais généraux.	»	6	»	. . . .	»	5	6
A déduire : scories, etc.	»	»	11	. . . .	»	»	10
Revient des 2.400 liv. .	5	8	11,71/100	. . . .	6	»	4,66/100
Revient des 1.015 kil. en forge	5	1	8,53/100	. . . .	5	12	4,30/100
Transport jusqu'à Cardiff ou Newport. . .	»	3	»	. . . .	»	3	»
Revient définitif. . . .	5	4	8,53/100	. . . .	5	15	4,36/100

Observation. Les proportions de fer ballé ne ressortent pas, mais les frais de ballage partiel en houille, main-d'œuvre, déchets, etc., sont compris dans les dépenses rapportées ci-dessus.

§ 4. *Observations sur les prix de revient qui précèdent.*

A l'inspection de ces prix de revient, il est aisé de se rendre compte des motifs qui restreignent la production des fers marchands dans le pays de Galles et qui ont dû y maintenir la fabrication des qualités inférieures.

Si des fontes blanches de qualité inférieure reviennent à 2 liv. 10 ou 3 liv., sans y comprendre ni bénéfices, ni intérêts de capitaux sur les matières premières, on peut en conclure à quels prix élevés reviendraient des fontes grises sans addition de scories comme celles qu'emploient le Staffordshire ou l'Écosse. Quelques hauts fourneaux gallois produisent cependant des fontes grises; mais on a vu que ce sont des fontes à l'air froid et au coke, destinées à des fabrications spéciales qui ne comportent qu'une production limitée et qui se sont conservées dans le pays de Galles par des raisons particulières.

Insuffisance du personnel ouvrier. — On aura sans doute remarqué combien les frais de main-d'œuvre sont réduits dans les diverses parties de la fabrication galloise, notam-

ment dans le puddlage. La nature des fontes, l'emploi exclusif des squeezers expliquent en partie ce résultat. Mais l'extrême jeunesse des aides puddleurs, l'emploi très-développé des femmes et des filles dans les forges de ce district, y contribuent aussi pour beaucoup. Là est le point faible de l'industrie du fer dans le pays de Galles : le personnel ouvrier manque à cette vaste production, aussi bien dans les forges que dans les mines. Il lui manquerait d'autant plus qu'on voudrait y tenter une fabrication plus soignée.

Enfin l'absence de débouchés locaux a dû exercer également une certaine influence sur la spécialité adoptée dans le pays de Galles.

§ 3. *Prix de vente des produits.*

Les prix courants de 1859 et 1860 ont oscillé entre 5 liv. 12 et 5 liv. 15 sh. la tonne pour les marques communes et entre 6 et 6 liv. 5 pour les marques ordinaires.

Bénéfices. — D'après cela, le produit net (en négligeant toujours les escomptes, comme précédemment) aurait été de 8 à 10 sh. Or, si l'on se souvient que les prix coûtants ne renferment aucun intérêt de capitaux, on voit qu'en les calculant au taux du Staffordshire, le produit net ne les couvrirait certainement pas, pour les mines, les fonderies et les forges.

CHAPITRE V.

OBSERVATIONS SUR LES PRIX DE REVIENT DES DIMENSIONS EXTRA. TABLEAU GÉNÉRAL DES PRIX COURANTS ANGLAIS EN 1860.

---

§ 1. *Prix de revient des dimensions extra.*

Jusqu'ici nous n'avons considéré le roulement des forges à fers marchands que sous le rapport des barres de première classe : on a vu combien sont généralement faibles

les bénéfices que les maîtres de forge anglais tirent de cette branche de leur industrie. On a vu également que les fers de bonne qualité comportent plus de bénéfices que les autres: ainsi les variétés *Best* et *Best-Best* procurent généralement aux forges, qui ont assez de fonds de roulement pour en fabriquer de fortes proportions, une plus-value de rendement assez importante (1).

Il en est un peu de même des *extra* sur dimensions. Ils reviennent certainement plus cher que les barres de première classe: ils exigent donc une *mise hors* qui n'est point à la portée des forges à capital restreint. Mais leurs prix de vente sont beaucoup plus rémunérateurs: quelques chiffres le montreront, sans qu'il soit besoin de reproduire ici des tableaux complets des prix de revient.

Prix de revient des extra. — D'après les renseignements qui nous ont été fournis dans plusieurs forges importantes du Staffordshire, un assortiment moyen de ronds et carrés de 1/2 à 1/4 de pouce et de plats de dimensions correspondantes reviendrait de 7 liv. 12 sh. à 8 liv. 3 sh. la tonne en forge, non compris les frais de loyer et fonds de roulement: soit 8 liv. 5. à 8 liv. 15, 9 liv. au plus, avec les intérêts et les frais de transport jusqu'au marché. Or, on verra au tableau général des prix courants que les prix de vente sont compris entre 8 liv. et 10 liv. 10 sh., sans même tenir compte des plus petits cercles ou rubans. Il en résulte que le produit net moyen était au moins de 15 sh. par tonne de cet assortissement de dimensions, aux prix réputés bas de 1859-60.

De même pour les gros ronds, carrés ou plats, supérieurs à la première classe, le prix de revient serait, tout compris jusqu'au marché, de 8 liv. 10 à 8 liv. 15 sh. la tonne.

---

(1) Cela s'applique *à fortiori* aux établissements comme *Low-moor*, *Bowling*, *Tudhoe*, *etc.*, qui ne produisent que des qualités supérieures et exceptionnelles.

Or, si quelques échantillons se vendent à peu près ce prix, la majorité oscille entre 8 liv. 10 et 10 liv. 10 sh., et quelques autres atteignent 13 et 14 liv.

Importances des bénéfices sur extra. — Il arrive, en un mot, pour ces diverses sortes de fers extra, ce qu'on constate souvent au sujet des prix de revient faits en bloc pour une série de produits : quelques-uns de ces produits se vendent à peu près au prix de revient, et le bénéfice total dépend finalement de la proportion des autres.

Ajoutons encore, au sujet des extra sur dimensions comme sur qualités, que les escomptes sont généralement moins élevés pour ces sortes que pour les variétés ordinaires ou communes; enfin les frais de transport sont souvent, dans le cas des premières, à la charge des acheteurs et non plus des vendeurs.

On jugera mieux des rapports entre les différentes sortes de fers marchands par le groupement des prix que présentent les tableaux suivants :

§ 2. *Tableaux des prix courants anglais en* 1859 *et* 1860.

1° Produits intermédiaires. (Fin métal. — Fer puddlé.)

	Qualité inférieure de Galles.	Qualité ordinaire de Galles.	De fontes d'anthracite.	De fontes à l'air froid.	Du Staffordshire ou d'Écosse.
	liv. sh. liv. sh.	liv. sh. liv. sh.	liv.	liv. sh. liv.	liv. sh liv. sh.
Fin métal	3 5 à 3 15	3 15 à » »	4	5 10 à 6	3 15 à 4 15
Fer puddlé	3 15 à 4 »	4 10 à 4 15	»	» » »	5 10 à 6 »

2° Fers en barres de première classe.

MARQUES COMMUNES de Galles, Cleveland et Staffordshire.	MARQUES « bon ordinaire » du Staffordshire et d'Écosse. Best du Cleveland.	MARQUE BEST. Staffordshire et Écosse.	MARQUE BEST-BEST. Scraps' iron, Charcoal iron (1), etc.
liv. sh liv. sh. liv.	liv. sh. liv.	liv. sh. liv.	liv. liv. sh.
5 12 à 6 5 ou 7	7 10 à 8	8 10 à 9	9 à 10 10 et au-dessus.

(1) On fabrique dans quelques forges du Staffordshire des fers de fontes au coke, rarement de fontes au bois, qu'on affine au petit foyer au charbon de bois. Ces produits sont plus exceptionnels encore que ceux de Lowmoor, Bowling, etc. Il en sera reparlé plus loin.

3° Qualités supérieures et exceptionnelles. (Classifications spéciales.)

Forge de Tudhoé.		Forge de Tudhoé appelé fer *Weardale*.		Forges de Low-Moor.	
	liv.		liv.		Prix. liv.
Fers en barres laminées de première classe...	8	Fers en barres martelées et laminées.........	16	Barres martelées et laminées pesant moins de 2 quintaux 1/2 (127 kil.).	18
Id. Best......	9	»	»	*Id.* de 2 quint. 1/2 à 3..........	18 1/2
Id. Best-best...	10	»	»	*Id.* de 3 à 4 quint.	19
				....	
				Id. de 8 à 9 quint.	32

4° Dimensions hors classe, en qualité « bon ordinaire, » du Staffordshire.

GROS FERS.		PETITS FERS.		CERCLES, RUBANS, BANDES.			
RONDS ET CARRÉS.	PLATS.	RONDS ET CARRÉS.	PLATS. Largeurs. — Épaisseurs.	LARGEURS.	ÉPAISSEURS. N° de jauge de Birmingham.	ÉPAISSEURS. En millimètres.	PRIX.
po. po. liv.sh. liv.sh.		po. liv.sh.	1/8 po. 2/16 4/16 po. liv.sh.liv.sh.liv.sh.	po. po.			
3 à 3 1/2 = 8. » à 8.10	De 6 à 7 pouces de large et même épaisseur que la première classe, 20 sh. par tonne d'écart avec la première classe. Cet écart subsiste même parfois pour des plats de 6 à 8 pouces de large.	7/16 = 8. »	7/8 Prix 9. » 8.10 8. »	6 à 2 1/4	N° 14	2 milimèt.	liv.sh. liv. 8 10 à 9
3 1/2 à 4 = 8.10 à 9. »		6/16 = 8.10	3/4 Id. 9.10 9. » 8.10	2 à 1 5/8	et en dessous.	1,63/100	
4 à 4 1/2 = 9.10 à 10.10		5/16 = 9. »	5/8 Id. 10.10 9.10 9. »	1 1/2 à 1 2/8	16	1,45/100	
4 1/2 à 5 = 10. » à 10.10		4/16 = 9.10	1/2 Id. 10.10 10. » 9.10	1 1/4 à 1	17	1,20/100	
					18		
RONDS SEULEMENT.				pouces.			
5 à 5 1/2 = 11. » à 11. » 1/2				7/8	19	1,5/100	9.10 à 10
5 1/2 à 6 = 12. » à 12. » 1/2				3/4	20	0,875/1000	10.10 à 11
6 à 6 1/2 = 13				5/8	Id.	Id.	12.10 à 13
6 1/2 à 7 = 14				1/2	Id.	Id.	15.10 à 16

Observations concernant les quatre tableaux. — Sauf pour les produits intermédiaires du Staffordshire, qui se vendent à la tonne de 2.400 liv. comme les fontes brutes, tous les prix de ces tableaux se rapportent à la tonne de 1.015 kil.

En outre, pour les acheteurs par petites quantités, les prix sont ceux de la tonne en forge ou en entrepôt à Birmingham, sauf déduction d'un escompte variable de 2 à 4 p. 100. — Pour des marchés plus importants, les forges se chargent des frais de transport jusqu'à Londres, Liverpool, etc., de sorte que les prix de vente peuvent être les mêmes en forge et dans les différents ports de mer.

QUATRIÈME PARTIE.

FABRICATION DES FERS SPÉCIAUX.

Nous classerons les fers spéciaux en deux catégories :

1° *Les fers profilés* (rails, bandages, cornières, fers de construction).

2° *Les fers en feuilles* (tôles, fers noirs, fers blancs), auxquels nous rattacherons les *verges de clouterie* et *de tréfilerie*, à cause de la similitude des procédés appliqués, en Angleterre, à ces différents produits.

Cette quatrième partie de notre travail comprendra donc deux divisions correspondant à cette classification.

PREMIÈRE DIVISION DES FERS SPÉCIAUX.

FABRICATION DES FERS PROFILÉS.

Forges à rails. — Parmi les fers profilés, les rails seuls répondent à une consommation assez étendue pour faire aujourd'hui la spécialité de forges importantes. Dans le pays de Galles, en particulier, d'immenses fabriques de rails ont pris la place des anciennes usines à fers marchands, substituant aux moyens de fabrication des barres, un matériel tout spécial et de plus en plus puissant.

Fers de construction. — Les cornières et autres fers de construction, jusqu'ici moins demandés, et pour lesquels on exige encore certaines qualités de fer, continuent, au contraire, à se préparer dans les forges proprement dites, en Écosse, dans le Staffordshire, etc. Fabriqués avec le même matériel que les barres marchandes, ce sont des

extra au même titre que les gros fers dont il a été question dans la troisième partie.

La similitude des procédés de fabrication, du moins des procédés de finissage, doit cependant tôt ou tard réunir la fabrication des rails et celle des fers de construction dans les mêmes usines. Les tendances des grandes constructions de terre et de mer hâteront sans aucun doute cette réunion : nous voulons dire les tendances à l'emploi de gros fers profilés.

Dimensions croissantes des fers de construction. — Depuis quelques années surtout, les constructeurs semblent apprécier de plus en plus les fers ouvrés sur grandes dimensions, grâce auxquels ils suppriment les assemblages à cornières et leurs longues lignes de rivets. Une solidité tout aussi sûre; une grande rapidité dans la pose; moins de main-d'œuvre de montage, voilà des avantages qui, bien compris, ouvriront de nouveaux débouchés à l'ouvraison du fer dans les forges.

Premier exemple. — C'est ainsi que Dowlais, l'une des forges galloises les plus considérables et les mieux outillées, a été amenée à fabriquer pendant la guerre de Crimée, des entretoises de batteries flottantes dont les sections, représentées par les croquis Pl. V, *fig.* 1, avaient, les unes (B. 1.) : 10 pouces ($0^m,25$) de haut et 9/16 pouces ($0^m,014$) d'épaisseur à la tige; les autres, *fig.* 1 *bis* (A. 1.) : 14 pouces de haut. Les constructeurs, pressés par la commande, voulaient ces pièces d'une seule longueur, afin d'éviter les joints : les unes avaient 49 pieds ($14^m,70$); les autres 56 ($16^m,80$).

Deuxième exemple. — C'est pour répondre à des conditions du même genre qu'une de nos forges, Saint-Jacques-de-Montluçon, livrait dernièrement à la compagnie des docks de Marseille des fers de charpente de $0^m,26$ et $0^m,40$ de hauteur.

Mais où trouver, sinon dans les forges à rails, à la fois

un matériel et un personnel suffisants pour des laminages sur pareilles dimensions? Les moteurs tous les jours plus puissants dont on a muni ces ateliers, les mécanismes par lesquels on y a facilité le maniement des paquets les plus pesants, tout y semble préparé pour la fabrication courante de ces gros échantillons, chargés jusqu'ici de prix extra fort élevés dans les forges à fers marchands.

C'est pour répondre à ces besoins évidents de notre époque que la forge de Dowlais construisait, au moment de notre voyage, un atelier gigantesque, destiné à produire alternativement toutes les variétés de fers profilés ; nous donnerons plus loin quelques détails sur sa composition.

Pour le moment, toutefois, les rails sont le produit principal de ces grandioses installations. Attachons-nous donc surtout à cette fabrication spéciale, nous bornant à donner dans un dernier chapitre quelques renseignements sur la fabrication actuelle des autres fers profilés.

SECTION PREMIÈRE.

Partie technique de la fabrication des fers profilés.

Qualités du fer propre aux rails. — Après bien des hésitations sur les qualités à exiger des rails, les consommateurs portent aujourd'hui presque toute leur attention sur la perfection de la soudure.

Ce que nous avons dit, au début de la troisième partie de ce mémoire, sur le travail mécanique du fer, montre que l'une des meilleures garanties de la soudure est dans l'emploi d'un fer un peu jeune. Par là, du reste, on n'obtient pas seulement le maximum d'*homogénéité* et de *densité*, mais on réalise mieux une autre qualité réclamée des consommateurs : la *dureté* du rail.

Cependant, si l'on attache aujourd'hui moins d'importance que par le passé à la résistance à froid des rails

bien soudés, on ne saurait leur appliquer, sans danger à cet égard, un fer jeune provenant d'une fonte quelconque. Il est même des fontes qui, affinées ainsi, donneraient des fers impossibles à laminer pour rails.

Trois méthodes principales de fabrication des rails. — Aussi les forges qui n'ont à leur disposition que ces fontes inférieures ont-elles recherché à la fois des garanties de ténacité et des garanties de soudure : les premières dans le *ballage*, et les secondes *dans les accroissements de section des paquets* : de là un premier procédé où *des paquets en fer puddlé de fontes blanches inférieures*, *à couvertes ballées* (*Roughed-down*), *sont laminées en deux chaudes pour rails finis.*

D'autres usines, mieux partagées sous le rapport des matières premières, ont obtenu une ténacité plus grande à froid, en même temps qu'une soudure et une dureté plus parfaites, avec *des paquets en fer puddlé de fonte grise*, *à couvertes martelées* (*slabs*), *finis en une ou plus souvent en deux chaudes.*

Enfin, ici comme pour les barres marchandes, un bon choix de fontes grises, un affinage soigné et *des paquets corroyés au marteau avant tout profilage*, constituent un troisième procédé dont les résultats surpassent de beaucoup ceux des deux précédents.

Les trois méthodes correspondent à trois districts. — Telles sont les trois méthodes principales de fabrication des rails aujourd'hui suivies en Angleterre. Cette classification correspond d'ailleurs assez bien aux spécialités de travail qu'ont adoptées les trois districts qui produisent principalement ces fers. Le pays de Galles applique surtout la première méthode; le Cleveland et le Durham, la seconde; la troisième enfin se suit *plus ou moins complétement* dans les forges à fers marchands du Staffordshire et du Yorkshire (West-Riding) qui se livrent à cette fabrication d'une façon intermittente. Nous avons également

énuméré ces méthodes suivant l'ordre d'importance de la production en chaque sorte, la troisième disparaissant à peu près devant les deux autres, mais surtout devant la première.

CHAPITRE PREMIER.

FABRICATION DES RAILS DANS LE PAYS DE GALLES.

Caractères généraux du procédé gallois. — Quelle que soit la composition des paquets, et nous verrons qu'elle varie notablement selon qu'il s'agit d'obtenir les rails « *bons ordinaires* » de Galles, les rails des Indes, qualité supérieure, ou les rails américains (1), tout à fait médiocres, les procédés de soudage et de profilage diffèrent peu. Dans une seule forge, nous avons vu faire d'une chaude *unique* des rails symétriques à double champignon. Partout ailleurs le procédé comprend deux chaudes, l'une de soudage, l'autre de profilage.

Double chaude. — Cette division du travail en deux chaudes est la conséquence évidente de l'accroissement donné aux paquets, en vue d'un étirage total plus considérable, c'est-à-dire pour augmenter les chances d'une soudure parfaite.

Cages soudantes ou bloomings. — Les cannelures plus profondes qu'il fallait à ces paquets, trouvant difficilement place sur les trains ordinaires, on les a disposées sur des laminoirs distincts de première et de deuxième chaude. De là ces cages *soudantes* ou *bloomings*, tantôt des trios (*Three High*) à releveurs mécaniques, tantôt de simples paires à mouvement alternatif (*Reversing*). De là aussi des machines de plus en plus puissantes comme moteurs des trains à rails.

---

(1) Autant les rails destinés aux chemins de fer indiens sont soignés, autant on néglige les rails, à double champignon en général, destinés à l'exportation aux États-Unis ou dans les autres parties du nouveau monde.

Capacité de production des usines galloises. — Enfin un dernier trait de la fabrication galloise, c'est la capacité de production des usines. Il n'est pas rare d'en rencontrer qui, en roulement continu, livrent jusqu'à 4 ou 5 et même 6 à 8 000 tonnes de rails par mois. Aussi, en présence de l'énorme mouvement de matières brutes et finies auquel donne lieu une pareille activité, n'est-on pas étonné d'y voir exécuter par d'ingénieuses machines, ce qu'ailleurs on confie encore trop souvent à la main de l'homme. Toutes les opérations de finissage : l'affranchissage, le dressage, le perçage des trous d'éclisses, etc., etc., s'y font, aujourd'hui, d'une manière extrêmement simple et économique.

Consistance d'une forge à rails. — A cette esquisse rapide du procédé gallois, on voit qu'une forge à rails comprend, en outre des ateliers de mazéage et puddlage sur l'installation desquels nous n'avons pas à revenir, un outillage tout spécial pour le laminage et le finissage des rails. Commençons par en donner une idée générale.

§ 1. *Courte description des ateliers de laminage et finissage des rails.*

Fours à réchauffer.

Les fours de premier et deuxième réchauffages sont identiques avec ceux dont il a été question au sujet des fers en barre de première classe. L'étirage de la première chaude étant assez réduit, il n'est besoin de rien changer aux dimensions et formes générales des soles, pour y recharger les paquets qu'on a passés aux bloomings (1).

(1) Il n'en est plus de même dans le cas de grands fers profilés; nous rapporterons, au chapitre troisième de cette division, les dispositions d'un réverbère à deux chauffes, imaginé pour le second réchauffage des blooms en usage dans ces sortes de fabrications.

Nombre des fours de première et de deuxième chaude. — La seule donnée importante à noter au sujet des réverbères de première et de seconde chaude, c'est le rapport des nombres de fours des deux sortes : ce rapport oscille entre 2 1/2 et 3, non compris les fours de ballage pour couvertes. La fabrication de celles-ci se fait séparément, soit sur les équipages à rails (bloomings et cages profilantes convenables), soit même dans des ateliers spéciaux. Le nombre des fours à couvertes varie d'ailleurs beaucoup, selon les proportions de fer ballé, passé dans les paquets.

Laminoirs.

Ils comprennent ainsi qu'il a été dit :

1° Une cage soudante (blooming).

2° Un train finisseur à deux cages, l'une dégrossisseuse, l'autre, finisseuse.

1° *Cage soudante.* Deux sortes principales de bloomings sont aujourd'hui en usage : semblables par le nombre et les formes des cannelures, ils diffèrent principalement par les moyens d'y faciliter et d'y accélérer les manœuvres.

Reversing system. — Le *premier* et le plus ancien blooming consiste simplement en une paire de gros cylindres (de 20 à 22 pouces de diamètre), recevant d'un embrayage spécial un mouvement alternatif.

Ce système n'est possible que sous la condition de ne pas prendre une vitesse de rotation supérieure à 30 ou 35 tours par minute : le chiffre de 20 à 25 tours paraît même être le maximum adopté dans le petit nombre de forges galloises qui appliquent ce dispositif. Mais dans ces limites le reversing fonctionne, dit-on, sans accident, sans entretien coûteux. Cela semblerait prouver qu'on s'exagère beaucoup les difficultés du renversement de mouvement des laminoirs en général. En fait, le peu

d'importance des masses en mouvement et la faible distance à laquelle elles se trouvent de l'axe de rotation, portent à croire qu'à une vitesse modérée, les cylindres n'acquièrent qu'une force vive peu considérable qu'on peut amortir sans chocs trop violents à chaque changement de sens de la rotation.

La réduction de vitesse est certainement plus favorable que nuisible à la perfection du travail des bloomings; car avec des paquets à couvertes laminées, on doit toujours craindre, aux premiers passages, le glissement du fer corroyé sur le fer brut. Or ce glissement sera, toutes choses égales d'ailleurs, d'autant moindre que la vitesse des cylindres sera plus réduite. C'est tellement vrai que dans les *trios* où l'on n'est plus limité quant à la vitesse par la nature des mécanismes, on dépasse rarement 20 à 25 tours.

Enfin le blooming reversing offre un dernier avantage: il chasse, au laminage, les scories du paquet dans les deux sens, et ne produit pas le déchirement interne des molécules, ce qui assure évidemment une épuration et un soudage meilleurs.

Malgré ces avantages, les *reversing* sont peu répandus. On leur reproche à tort, selon nous, d'aller contre leur but en nécessitant une réduction de vitesse. On prétend ensuite que le temps perdu en interruption et changement de mouvement équivaut à très-peu près à celui que prend la manœuvre du paquet d'un côte à l'autre des cylindres. Mais en fût-il ainsi, que ce système économiserait toujours le travail d'exhaussement et d'abaissement des paquets. Le seul reproche sérieux à faire à cet appareil c'est de nécessiter des organes de transmission un peu plus compliqués et en même temps plus forts, pour éviter les chances d'arrêts trop fréquents.

Système dit Trio Three-high. — Un *second système* beaucoup plus répandu est celui des *Trios* (*Three-high*) (voyez Pl. V, *fig.* 2, 3 et 5) : trois cylindres de 20 à 22 pouces

de diamètres, parfois même de 24 (0m,72) et de 1m,50 à 1m,80 de longueur sont montés entre deux fermes, à la façon des anciens trios de petit mill. Le dispositif de ces bloomings est assez constant : ils ne diffèrent que par les releveurs mécaniques, accessoires obligés de ces appareils. Nous ne rapporterons que les modèles les plus simples.

Releveur mécanique à vapeur. — Le premier (*fig.* 2 et 3, Pl. V) rappelle, en principe, la construction du marteau-pilon. Un tablier à roulettes P—P est attaché par le cadre ABCD à la tige Q d'un piston mobile dans le cylindre à vapeur C. Ce cylindre reçoit la vapeur au bas par une soupape S qu'un levier *ll'l''* fait ouvrir : à l'admission, par le tuyau ST; à l'exhaustion, par SE. A chaque levée du piston, le tablier monte, en partie équilibré par les contre-poids RR et guidé par les anneaux GG qui embrassent les tringles LL. A chaque échappement de vapeur, l'excès de poids du tablier et de ses armatures sur les balanciers RR le fait descendre aussi lentement que le veut l'ouvrier placé au levier *ll'l''*.

Ce mécanisme se peut poser très-aisément en avant et un peu en contre-haut des cylindres mêmes du blooming, comme le montre la figure. Cependant on laisse plus de liberté aux mouvements et manœuvres dans le voisinage des cylindres, en reportant le cylindre à vapeur sur un pilier situé à une certaine distance et en reliant le tablier à sa tige, à l'aide de chaînes et poulies de renvoi. Cette liaison s'obtient très-simplement encore par des leviers et tringles, comme à Seraing en Belgique (*fig.* 1, 2, 3, Pl. IX) (1).

Sauf les cas où il emploie des chaînes et poulies, ce mode de relevage a toutes ses parties rigides; elles se lient d'une

(1) Ce releveur est appliqué à la tôlerie de Seraing; la fabrication des grandes tôles a dû, en effet, nous le verrons plus tard, recourir aussi à ces moyens de faciliter le laminage.

manière simple, sans organes de transmission exposés à des ruptures ou autres dérangements (sans aucun engrenage, par exemple). C'est là son principal avantage, avantage qui balance très-bien l'inconvénient d'un coût un peu plus élevé de l'appareil et de la dépense de vapeur. Ce système nous a semblé un des plus répandus.

Relevage mécanique bilatéral. — Le relevage constitue le travail le plus lourd dans la manœuvre des paquets au laminoir. Néanmoins la descente de masses aussi pesantes (2 à 300 kil.) d'une hauteur de $0^m,70$ à $0^m,80$, ne laisse pas d'être fort pénible et de retarder le travail. C'est pour remédier à cet inconvénient que M. Ménélaüs, directeur de la forge de Dowlais, y faisait établir l'été dernier le releveur bilatéral représenté par la *fig.* 5, Pl. V.

Deux tabliers à roulettes PP—P'P' suspendus aux chaînes CC—C'C' montent et descendent simultanément le long des guides GG—G'G'. Le mouvement est pris par la manivelle *m* sur l'extrémité du cylindre supérieur. Par l'intermédiaire de la bielle LL' et du bouton à glissière *b*, cette manivelle communique un mouvement alternatif au segment d'engrenage *oo'o''*. Avec cet engrenage un levier TS' porté par un support SS' fait embrayer d'une façon intermittente un petit pignon Q, glissant sur un arbre parallèle à l'axe du segment. Sur cet arbre sont placés : 1° une poulie N portant le balancier R et la chaîne K; 2° trois poulies M', M', M' dont les deux extrêmes supportent les chaînes C', C' du tablier P'P' et celle du milieu met en mouvement, à l'aide du brin C'', un autre arbre placé dans le prolongement de l'axe du segment d'engrenage. Ce dernier arbre porte, à cet effet, trois poulies M, M, M, dont les deux extrêmes reçoivent les chaînes CC du tablier PP et celle du milieu, le brin conducteur C''.

Il est aisé de concevoir, d'après cela, qu'en embrayant à propos le pignon Q avec la roue *o'o''*, on soulèvera directement le tablier P'P' et indirectement, par le brin C'',

le tablier PP. La manœuvre du paquet exécutée, on désembraye et les tabliers redescendent par leur propre poids avec une vitesse que modère l'action du contre-poids et, au besoin, l'action du frein *ff'Ff''* sur la gorge de la poulie N du balancier.

Le principe du relevage bilatéral est évidemment bon en lui-même; mais l'appareil que nous venons de décrire semble bien compliqué : il exige trop de chaînes, d'organes de transmission. La prise permanente du mouvement à l'extrémité du cylindre supérieur, avec embrayages et désembrayages répétés, doit être l'occasion de dérangements fréquents.

Système de relevage usité en France. — Tout en conservant l'ensemble du dispositif précédent, on appliquerait plus simplement le principe du double relevage en prenant le mouvement à l'aide d'une corde en chanvre enroulée, d'une part, sur l'une des poulies M et M' et allant, de l'autre, faire plusieurs tours sur l'extrémité du cylindre supérieur. On pourrait même mieux, pour avoir plus de longueur de corde et par suite plus d'élasticité, prendre le mouvement sur le cylindre inférieur. En tous cas, l'enroulement de la corde sur le cylindre, serré ou lâché par la main d'un homme, produirait alternativement le mouvement et le repos des poulies MMM, M'M'M' mieux que le système d'engrenage O'O''—Q.

Ce mode de mise en mouvement des relèvements mécaniques, à l'aide d'une simple corde, est le plus répandu en France, mais pour des releveurs unilatéraux. Il paraît avoir été appliqué pour la première fois à l'usine du Creuzot.

2° *Train finisseur.* — Laissant pour ce train comme pour les bloomings, la question des cannelures sur laquelle nous reviendrons bientôt, occupons-nous ici de l'installation générale des deux cages qui le composent.

Dans la plupart des forges, c'est tout uniment l'ancien

train à deux cages, dégrossisseuse et finisseuse, tel qu'on l'appliquait à la fabrication des rails en une seule chaude, avec paquets de section moindre qu'aujourd'hui.

Dans quelques usines on a cependant adopté, au moins pour la cage dégrossisseuse, le trio à releveur mécanique.

Laminoirs finisseurs à marche inverse. — La seule installation nouvelle que nous ayons à citer pour la cage finissante est celle dont on arrêtait les dernières disposition, au moment de notre visite à Dowlais, et que représente le diagramme *fig.* 4, Pl. V. Cette installation comprend une première paire de cylindres A, semblable à la cage finisseuse ordinaire et pouvant, à volonté, marcher à 50, 100 et même 120 tours par minute. Un peu en arrière et au-dessus de cet équipage, se trouve une seconde paire B, tournant en sens inverse de la précédente, ainsi que le montrent les flèches. Une barre engagée d'abord dans les cannelures des cylindres A, au lieu de repasser libre par-dessus ceux-ci pour reprendre une nouvelle cannelure, la trouvera immédiatement dans la paire B. On espérait ainsi économiser les deux tiers du temps consommé dans le laminage ordinaire.

Laminoirs jumeaux, co-lamineur. — L'appareil de Dowlais applique le même principe que ceux imaginés en France: 1° par *M. Lebrun Virloy* sous le nom de *laminoirs jumeaux;* 2° par M. Cabrol sous celui de *co-lamineur* (1). Ces deux systèmes sont basés aussi sur la marche inverse de deux cages parallèles. Seulement, dans les deux premiers, on évite le relèvement des paquets en disposant les deux équipages au même niveau.

Le transport de l'un à l'autre s'exécute à l'aide de cha-

(1) Voyez tome X de la publication industrielle de M. Armengaud aîné. — Paris, 1857; pages 283 et suivantes. M. Armengaud estime à 60 p. 100 l'économie de main-d'œuvre réalisée par le colamineur Cabrol.

riots, mus mécaniquement sur de petits chemins de fer: l'avantage nous semble, par là, rester au système français. Rappelons, en passant, que ce n'est point le seul cas où nos forges aient devancé les forges anglaises dans l'amélioration de l'outillage.

Machines motrices des laminoirs à rails.

Le blooming et le train finisseur sont généralement, dans le pays de Galles, liés à un moteur commun, qui dessert même tous les appareils accessoires tels que presses de dressage, scies, etc. Nous ne reviendrons pas sur ce que nous avons dit, au chapitre des fers marchands, à propos du choix des machines verticales ou horizontales. Bornons-nous à rapporter quelques exemples de la force motrice appliquée aux laminoirs à rails et à gros fers profilés.

Force motrice absorbée. — Voici d'abord quelques renseignements que nous empruntons à l'ouvrage de M. Truran: cet auteur a estimé, par des moyens qu'il n'indique point, les consommations de force motrice que font les diverses parties d'un train composé ainsi qu'il suit:

Un équipage double (dégrossisseur et finisseur sans blooming); une cisaille; huit presses à dresser; des scies et autres accessoires: les cylindres de 18 pouces ($0^m.55$), marchant à 85 tours par minute. Machine horizontale à haute pression.

	ch.-vap.(1)
La puissance absorbée par cet ensemble marchant à vide, aurait été de.	71
La puissance additionnelle, pour une production de 600 t. de rails à patin par semaine.	168
Total.	239

(1) Le *cheval-vapeur* que M. Truran prend pour unité représente le travail de 3.300 liv. (14.850 kil.), élevées à 1 pied ($0^m,30$) par minute ; soit 74 à 75 kil. élevés à 1 mètre par seconde, ou à très-peu près le cheval ordinaire.

De plus cette dépense totale se serait répartie comme suit :

	ch.-vap.
Frottement et force d'inertie de la machine.	12
Mise en mouvement des transmissions.	22
Travail spécial des laminoirs..	179
— de la cisaille.	6
— des huit presses à dresser.	12
— d'une paire de scies circulaires.	8
Total.	239

Enfin les 179 chevaux, portés au compte des cylindres, ne représenteraient que la dépense moyenne de cet outil ; durant l'acte même de l'étirage, la puissance fournie par la machine, augmentée de celle rendue par le volant, donnerait un travail pouvant varier entre 332 et 485 chevaux. Toutes ces estimations nous semblent fort élevées ; mais M. Truran ne rapportant ni les dimensions ni les conditions de vitesse et pression de la machine motrice dont il s'agit, il nous est impossible de discuter ses résultats. Nous ne les donnons donc qu'à défaut de plus précis, les questions que nous avons pu faire à ce sujet dans les forges anglaises ayant rarement été suivies de réponses nettes et certaines. Une force nominale de 120 chevaux nous a été donnée plusieurs fois comme suffisante à la mise en mouvement d'un blooming et du train de finissage, en moyenne activité.

Laminoir de Dowlais. — Nous citerons encore l'exemple de l'atelier pour gros fers profilés qu'on vient d'établir à Dowlais. Cet atelier, dont nous avons déjà parlé plusieurs fois, devait comprendre :

1° Une machine à balancier, à deux cylindres verticaux accouplés à 90° ; chaque cylindre ayant 45 pouces ($1^m.368$) de diamètre, avec une course de 10 pouces ($3^m.04$). Fonctionnant à une pression de 55 à 60 livres (3 à 4 atmosphères) par pouce quarré, avec détente au tiers de la course, elle

devait fournir une force nominale d'environ 1.000 chevaux (1).

2° De chaque côté de ce moteur, un train à gros fers profilés : l'un, établi d'après la méthode courante et destiné à la fabrication des rails ordinaires ; l'autre comprenant un trio dégrossisseur et un laminoir finisseur à cages parallèles sur le modèle décrit plus haut, destiné aux plus gros fers profilés (de fortes sections et de grandes longueurs).

3° Deux lignes de fours de première chaude, entre lesquelles un trio blooming, placé également à portée des fours de deuxième chaude. Chaque ligne de fours en a 12, auxquels correspondent 5 de deuxième chaude.

4° Deux marteaux frontaux destinés au martelage des paquets en remplacement du soudage au blooming, selon que l'exigeront les consommateurs,

5° Une paire de scies et un équipage de cylindres pour le laminage à plat des bouts de rails ou autres fers à repasser dans les paquets.

Les presses à dresser et autres outils de finissage devaient être desservis par des machines spéciales.

---

(1) Nous ajouterons quelques renseignements sur la construction de cet énorme moteur, le plus considérable peut-être qu'il y ait au monde, dans l'outillage des forges : c'est le digne pendant de la gigantesque soufflerie que nous avons eu l'occasion de citer précédemment dans le même établissement.

Cette puissance machine devait être desservie par 6 chaudières du Cornouailles, de 44 pieds (13m,50) de longueur et 7 pieds (2m,10) de diamètre, munies chacune d'un bouilleur de 4 pieds (1m,21), tout cet ensemble donnant un poids de tôles de 120 tonnes.

Les fondations de la machine étaient en fonte : quatre murs parallèles de 75 pieds de long, 12 de haut et 21 pouces de large, soit un poids total de 250 tonnes.

Chacun des balanciers se compose de deux parties réunies à boulons : poids, 37 tonnes. Ces deux pièces sont supportées par huit colonnes en fonte, de 24 pouces de haut sur 30 pouces de diamètre, assujetties aux fondations par des sabots profonds.

Chaque groupe de quatre colonnes est surmonté d'une lourde plaque d'entablement, dans laquelle les colonnes pénètrent de

Nombre et tracé des cannelures à rails.

Rapport entre le nombre des cannelures et les dimensions des paquets. — L'introduction des gros paquets à section de 9 à 10 pouces ($0^m,22$ à $0^m,25$) de hauteur sur 8 à 9 de largeur, tout en provoquant l'établissement des bloomings, a déterminé un accroissement notable du nombre des cannelures, des cannelures ébaucheuses du moins.

Dans la seule forge galloise où nous ayons vu laminer d'une chaude, des rails à double champignon par paquets de 7 pouces à 7 pouces 1/2 ($0^m,17$ à $0^m,18$), le nombre total des cannelures était de 9 : 4 ébaucheuses et 5 finisseuses. Au contraire, dans les forges usant du blooming avec paquets de $0^m,20$ à $0^m,25$, le nombre total des passages atteint 12 ou 13, descendant assez rarement à 11. L'excédant de ce nombre sur le précédent appartient tout entier au blooming, car le train finisseur, qui le suit, renferme toujours 8 ou 9 cannelures comme les anciens.

A une époque où les bloomings étaient moins répandus qu'aujourd'hui, en 1855, la double chaude se pratiquait

---

2 pieds; les trous de la plaque et les têtes de colonnes sont tournées soigneusement pour éviter le jeu. C'est sur les entablements que sont posés les coussinets des balanciers.

L'arbre de la roue dentée est en fonte (*a*); ses tourillons ont 24 pouces de diamètre.

L'arbre du volant est en fonte : 21 pouces ($0^m,525$) de diamètre.

La roue dentée a 25 pieds jusqu'au cercle de prise de dents et 7 pouces au delà pour les dents; sa largeur est de 27 pouces. Le volant a 21 pieds de diamètre, pèse 30 tonnes et fait 120 tours. Enfin, pour 1.000 chevaux de force nominale, ce moteur extraordinaire a consommé environ 1.000 tonnes de fonte, fer, cuivre, bronze, etc.

(*a*) On s'étonnera peut-être que, dans une construction de cette importance, on applique la fonte à des organes comme les arbres de la roue et du volant. C'est là une pratique très-fréquente en Angleterre dans la construction des machines; la fonte remplace chez nos voisins les fers de choix que nous appliquons aux organes de résistance; aussi les machines anglaises ont-elles généralement un aspect plus lourd que les nôtres, mais nous ne répondrions pas que la solidité des premières égale celle des secondes.

déjà sur gros paquets de 0m,20 à 0m,25 pour rails Barlow; mais le tracé, réparti sur deux paires seulement, ne comportait encore que 11 cannelures. On n'arrivait au chiffre de 13 que pour des fabrications plus difficiles : celle des rails creux pour ponts, par exemple. C'est ce qui résulte des tracés représentés par les *fig.* 1, 2 et 4, Pl. VII, que nous empruntons à M. Truran. On trouve aux Pl. VII, *fig.* 3, et Pl. VIII, *fig.* 1, deux tracés de la même époque pour rails d'une chaude, à patins et à champignons, qui n'ont chacun que 8 cannelures. Enfin les *fig.* 2, 3, 4, Pl. VIII, ont été prises par nous sur trois tracés pour rails à patins, livrés par plusieurs forges galloises, en 1854, 1855 et 1857, aux chemins de fer suisses.

Formes et dimensions des cannelures. — Si du nombre nous passons aux formes et dimensions des cannelures, nous apprécierons mieux encore l'influence du premier.

De tous temps, même lorsqu'au début de la fabrication des rails, les paquets étaient moins volumineux et renfermaient plus de fer ballé, les premières cannelures ébaucheuses furent rectangulaires ou quarrées à angles arrondis. C'était effectivement la seule forme qui convînt au premier travail du laminage, c'est-à-dire au soudage des mises, sans altération de leur arrangement réciproque.

Rapport des sections de la première et de la dernière ébaucheuse. — Les équipages à deux paires où se préparaient d'une chaude les rails symétriques à double champignon (tracé *fig.* 3, Pl. VII) comprenaient 4 dégrossisseuses de cette forme : la première avec une section de 45 à 46 pouces quarrés (288 centimètres quarrés) et la dernière de 145 centimètres quarrés. La réductien d'équarrissage était donc déjà de 50 p. 100 avec des paquets de 17 centimètres de large sur 18 à 19 de haut. Pour rails à patins (*fig.* 1, Pl. VIII), les difficultés du finissage, sur ces anciens équipages, portèrent d'abord à réduire le nombre des passages soudants pour accroître celui des cannelures

profilantes. Un paquet comparable aux précédents comme section, ne recevait plus qu'un passage soudant, à la première cannelure; encore y profilait-on déjà la région du patin. Toutes celles qui suivaient, sauf une placée beaucoup trop loin pour agir efficacement sur la soudure, travaillaient le paquet sur champ et plus ou moins inégalement. Les profils *fig.* 2, 3, 4, Pl. VIII, valaient certainement mieux, en ce sens que le soudage, précédant plus méthodiquement le profilage, devaient y être plus parfait. Cependant même dans le tracé *fig.* 4 (1854), le meilleur à notre avis, la section du paquet n'était réduite que de 40 à 45 p. 100 en passant de la première dégrossisseuse (266 centimètres quarrés) à la dernière rectangulaire (146 centimètres quarrés.)

Voilà ce qui se faisait avec les anciens équipages: voyons les modifications introduites avec les bloomings.

En disposant les 2, 3 ou 4 cannelures soudantes sur une cage spéciale, on leur a naturellement conservé la forme quarrée. Dans la plupart des cas ce carré est évasé de 2 à 3 centimètres de chaque côté, vers le milieu de sa hauteur (sur la ligne de contact des cylindres). En outre de cet évasement, on remarquera sur les croquis (*fig.* 24 et 26, Pl. VI) que les cordons sont arrondis de façon à favoriser l'entraînement d'une certaine épaisseur de fer entre les cylindres. Les fortes pressions qu'on donne aux cannelures soudantes occasionnent toujours, quoi qu'on fasse pour les éviter, des bavures ou nervures sur la ligne de contact: par le moyen précédent, on cherche à les obtenir plutôt épaisses que minces, les premières se refroidissant moins vite que les secondes et disparaissant plus aisément au laminage après retournement.

Nous venons de dire que les pressions sont très-fortes dans les passages au bloomingx; elles oscillent effectivement entre 4 et 6 centimètres. Sauf pour la première cannelure, il faut toutefois entendre ces chiffres des pressions

sur les milieux des sections. En effet, par suite de l'évasement ci-dessus indiqué et du retournement des paquets, la hauteur du bloom sur le milieu excède toujours celle des côtés de la largeur de la bavure, c'est-à-dire de 2 à 3 centimètres au moins.

En somme, la première cannelure du blooming, qui a de 400 à 450 centimètres quarrés de section, peut recevoir des paquets de 450 à 500 et même de 5 à 600 centimètres quarrés, que les deux ou trois suivantes amènent à 300 ou 350, c'est-à-dire aux sections qu'offraient les paquets livrés à la première ébaucheuse des anciens trains. Si alors on donne à ce bloom une seconde chaude suante et qu'on le passe aux ébaucheuses du train finisseur, on le pourra réduire à une section de 140 à 150 centimètres quarrés, avant de l'engager dans les cannelures profilantes. On aura donc ainsi réduit la section primitive de 65 à 70 p. 100 avant aucun profilage.

Conditions du soudage. — Le soudage sera-t-il parfait dans ces conditions? En cas de paquetage soigné, il semble qu'on serait en droit de l'espérer. Le succès néanmoins dépend beaucoup du mode de remplissage des trousses, du degré d'homogénité des mises, de l'énergie plus ou moins grande des deux chaudes, toutes conditions qui sont loin d'être convenablement réalisées dans la pratique des ateliers; nous le montrerons plus loin.

Tracé des cannelures profilantes. — Nous n'avons jusqu'ici traité que des cannelures soudantes. Nous insisterons moins sur les cannelures profilantes, ébaucheuses ou finisseuses: c'est qu'en effet, autant le tracé des premières prête à une formule générale, autant les secondes varient. Elles varient avec le profil des rails, avec la qualité des fers et la perfection du chauffage, beaucoup enfin avec la rapidité de la fabrication.

Pour se borner aux variations suivant le profil, voici les observations auxquelles conduit la comparaison des divers

tracés que nous avons représentés dans les Pl. VII et VIII.

Sauf dans le tracé *fig* 1, Pl. VIII, le profilage du patin précède celui de la tige et de la tête du rail. Si, dans tous les autres, on calcule le rapport des sections *du patin* et *du reste du rail fini*, on se rend compte de cette différence entre eux et le précédent. On voit que dans le premier ce rapport est à peu près égal à un, tandis qu'il est notablement inférieur dans les seconds. C'est donc avec raison qu'en ce dernier cas on garde pour la fin le travail de la tête et de la tige; il est sûr que le patin, une fois profilé presque définitivement, n'aura besoin que d'une faible pression pour suivre l'étirage de la portion la plus volumineuse. Grâce à ses fortes dimensions, celle-ci conserve d'ailleurs assez de chaleur pour qu'indépendamment des raisons de forme, son profilage demeure plus facile que celui du patin. On voit par là aussi pourquoi, dans le premier cas, le profilage de la tête et du patin marchent à peu près simultanément; on opère alors comme dans le laminage des rails symétriques à double champignon.

Quant aux autres différences qu'on observe entre les divers tracés, tiennent-elles à quelques détails du paquetage ou à la nature de fer? Nous n'avons aucune donnée à cet égard; remarquons seulement que ces différences n'ont rien d'excesssif.

Appareils finisseurs.

Dès la sortie des laminoirs, on observe les soins appliqués dans les forges galloises à tout ce qui peut réduire les frais de main-d'œuvre de finissage des rails.

Sortie des rails sur rouleaux en fonte. — Les rails circulent presque sans manœuvre de la plaque de garde à la scie d'affranchissement. Trois ou quatre rouleaux en fonte, affleurant les plaques qui recouvrent le sol, suffisent à ce transport.

Sciage des rails. — Le dressage à chaud se fait par quelques coups de maillet ou par quelques secousses données au rail sur le banc à scier.

L'affranchissement aux deux bouts à la fois, plus souvent à chaque bout successivement, mais de la même chaude, est une pratique aujourd'hui générale, non-seulement dans le pays de Galles, mais encore dans toute l'Angleterre. La disposition la plus ordinaire de l'appareil d'affranchissement est la suivante: un axe de 1 mètre à 1^{m},20 de long, porte deux scies de 1 mètre à 1^{m}.40 de diamètre; aux deux extrémités de cet arbre et dans le prolongement de la dernière cannelure finisseuse sont disposés deux bancs de sciage, l'un entre le laminoir et la première scie, l'autre au delà de la seconde. Le rail amené sur le premier banc, l'extrémité antérieure en face de la scie correspondante est fixée sur le banc; ce premier bout affranchi, on pousse le rail sur le second banc, qui est muni d'un arrêt par lequel on détermine exactement la position du second trait de scie. Le rail affranchi passe immédiatement aux limeurs à chaud.

Vitesse et force des scies. — Les scies tournent à une vitesse de 8 à 900 tours, parfois même à 12 ou 1.300. D'après M. Truran, une paire de scies de 1^{m},37 de diamètre, marchant à 820 tours par minute, était desservie par une force nominale de 11 chevaux.

On ne parvient pas, par ce moyen, à affranchir tous les rails dans les limites de tolérance imposées par les consommateurs: en Angleterre, comme ailleurs, il faut repasser une proportion plus ou moins élevée des produits. Ce travail complémentaire se fait en même temps que le dressage définitif, le percement des trous d'éclisses, etc., toutes opérations qui s'exécutent à froid, par des machines dont nous allons dire quelques mots.

Presses mécaniques de dressage à froid. — Les dispositions de ces divers mécanismes se rattachent plus ou moins

à celles de la *presse à froid* (Straightening-machine). Les *fig.* 22 et 23, Pl. VI, représentent une presse de cette sorte à double marteau.

Un arbre coudé *a* reçoit sur chacun des coudes, calés à 180°, un excentrique *e* auquel s'articule la tige T d'un marteau *m*. Cet arbre est porté par un bâti en fonte M, venu à la coulée avec deux enclumes EE. A celles-ci se rattachent les supports *ss'* de rouleaux RR' placés à la hauteur des enclumes. Les rails déposés, après le limage à chaud, sur des bancs de recette situés à la hauteur des rouleaux RR', glissent sur ceux-ci jusque sous les marteaux *mm'*, moyennant une très-faible dépense de main-d'œuvre.

Force motrice d'une batterie de presses. — Dans la plupart des forges à rails, un même arbre *a* dessert de 4 à 6, souvent même 8 presses semblables. D'après M. Truran, la force nominale nécessaire à une paire de presses serait de 7 chevaux, à la vitesse de 28 coups par minute et pour le dressage de 80 à 100 tonnes de rails par semaine.

L'usage des rails à patins et des rails éclissés devenant tous les jours plus général, les forges galloises ont établi, parallèlement à la ligne des presses, un second et même un troisième arbre portant, l'un les machines à percer ou à entailler; l'autre, les machines à repasser les rails sciés trop longs.

Machines à percer. — Les machines à percer ne diffèrent généralement des presses que par la substitution d'un ou deux emporte-pièces aux marteaux *m*, *m'*, et d'une enclume mobile, appropriée à la section du rail, à l'enclume fixe E.

Machines à repasser les bouts de rails. — La machine à repasser les bouts de rails (Grinding-machine) est ordinairement une simple machine à raboter, dont le ciseau se meut comme le marteau *m*. Ce ciseau rogne par tranches verticales l'extrémité du rail, auquel on imprime un mouvement horizontal convenable. Cette machine, comme celle

du perçage, va plus vite que les presses; elles donnent de 30 à 40 coups par minute.

Fabrication mécanique des liens pour paquets. — Citons, pour terminer ce paragraphe, un dernier exemple qui montre jusqu'où nos voisins poussent la substitution des machines à la main de l'homme; les liens pour paquets se font à la mécanique. Le petit fil de fer destiné à cet usage est cisaillé de longueur; sur l'axe même de la cisaille est fixé un petit mécanisme facile à concevoir, qui ploie le fer sur trois directions, rectangulaires entre elles et correspondant à la base et aux deux joues du paquet. Une femme ou une jeune fille suffit à la conduite de cet outil.

§ 2. *Principales circonstances du travail.*

Mazéage et puddlage.

Nous avons fort peu à ajouter, sur cette partie de la fabrication des rails, à ce que nous avons dit de ces deux opérations au sujet des barres communes de Galles.

Rails gallois ordinaires. — Rappelons seulement que la majorité des fers puddlés appliqués aux rails *ordinaires* de Galles proviennent de fontes blanches encore plus impures que celles dont on tirait les fers en barres tout à fait communs. Les lits de fusion qui les donnent tiennent toujours au moins 20 à 25 p. 100 de scories. Un puddlage sec, exécuté par un personnel tout à fait insuffisant, un cinglage au *squeezer* ou au *revolver*, produisent, avec ces fontes, un fer très-inégalement affiné, très-mal dépouillé de scories, qui paraît bien soudant, mais fort difficile à travailler à chaud. Le ballage fait disparaître ces défauts, mais en partie seulement. — Aussi les paquets composés avec de pareils fers demandent-ils à être laminés rapidement et finis encore chauds.

Les parties d'un travail délicat, comme les ailes des rails à patins, réclament un fer plus choisi. On y applique,

en général, des fers ballés de fontes meilleures, mazées en partie ou en totalité et puddlées un peu plus soigneusement. Ou bien encore, on se sert en ce cas de bout de rails laminés sous forme de largets.

Rails gallois supérieurs. — A côté de ces qualités ordinaires, les forges galloises fabriquent, nous l'avons déjà dit, une moindre proportion de rails supérieurs et de rails tout à fait inférieurs. C'est surtout par le choix des fontes que ces produits diffèrent des précédents. Aux premiers on applique les mêmes fontes qu'aux barres bon ordinaire de Galles, c'est-à-dire provenant de lits de fusion peu chargés de scories; aux seconds les produits de lits de fusion qui en renferment jusqu'à 40 ou 50 p. 100.

Nous ne reviendrons plus sur le mazéage et le puddlage, renvoyant pour les produits et consommations à ce que nous avons dit des barres marchandes et aux prix de revient des rails que nous rapporterons plus loin.

Fabrication des couvertes.

Composition des paquets. — Les *fig.* 17 à 21, Pl. VI, représentent les sections des paquets les plus fréquemment employés pour couvertes.

Les deux premières (17 et 18) montrent des trousses composées de riblons, bouts de barres de toutes sortes, enveloppées de largets en fer puddlé. Quelque précaution qu'on prenne de compenser par les barres *bb* — *bb* les vides laissés par les riblons, il est douteux qu'on obtienne une bonne soudure de pareils lopins. Ce reproche est encore plus mérité par les modèles 19 et 20, assemblages de bouts de rails et de largets puddlés. La section 19 surtout, malgré ses grandes dimensions, est certainement inférieure à toutes les autres sous le rapport du soudage. Quelque chauds et rapides que soient les premiers passages d'une semblable trousse aux cannelures ébaucheuses, la pression des cylindres est à peu près perdue pour la soudure. Avant que

des éléments aussi disjoints soient rapprochés, amenés en contact, le fer est déjà trop froid pour qu'il y ait agglomération même partielle des mises. Ou bien l'on est dans l'obligation de donner une seconde chaude, qui *dessèche* le fer outre mesure et rend les couvertes d'un emploi ultérieur moins avantageux. Il est à peine nécessaire d'ajouter que les vides circonscrits qu'offrent les sections 17, 18 et 19 sont autant de poches où le fer s'oxide abondamment et les scories demeurent trop étroitement enfermées.

La trousse *fig.* 21, toute en fer puddlé, à largets bien assis, bien jointifs, répond beaucoup mieux que les précédentes au but qu'on doit se proposer dans le ballage pour couvertes ; l'obtention de plaques *denses*, *homogènes* et *propres*.

Si le laminage peut atteindre ce résultat, c'est avec des paquets comme ce dernier où toute la section est réellement pleine, sur lequels agit efficacement la pression des cylindres dès la première cannelure. A quoi bon, dans les autres, accroître les dimensions transversales, si d'avance on annule les effets des fortes pressions qu'elles sembleraient annoncer ?

Inconvénients de l'hétérogénéité des mises. — Jusqu'ici nous n'avons pas tenu compte de l'hétérogénéité des fers assemblés dans les paquets 17 à 20. Mais si, comme nous l'avons fait voir précédemment (Ire section de la troisième partie) le laminoir ne produit souvent qu'un faisceau de lames à peine liées entre elles, avec des paquets comme celui de la *fig.* 21, combien n'est-ce pas plus à craindre avec les premiers ?

Un dernier point serait à étudier au sujet des couvertes pour ballage ; c'est l'épaisseur qu'il convient de leur donner ; nous allons en parler au sujet des paquets à rails.

Finissage des rails de qualité ordinaire.

Modes de paquetage pour rails ordinaires. — Nous avons représenté par les *fig.* 1 à 13 de la Pl. VI les modes de paquetage pour rails ordinaires. Les parties hachées indiquent le fer ballé ; les mises horizontales qu'on distingue au milieu des paquets 2 et 3, sont des bouts ou rebuts de couvertes. Les *fig.* 1 à 9 se rapportent à des rails à patins et la *fig.* 10 à des rails à double champignon du modèle indiqué dans le paquet. Les *fig.* 12 et 13 représentent enfin les plus petites trousses usitées en Galles. Ces divers paquets correspondent à des rails finis pesant généralement de 65 à 70 liv. le yard, c'est-à-dire 33 à 35 kil. le mètre courant.

Proportion de fer ballé et de fer brut. — Les proportions de fer ballé varient de 1/5 à 1/3 ; elles descendent même rarement à 1/5. Le plus souvent, à moins de prescriptions spéciales des consommateurs, les maîtres de forge adoptent 1/4 de corroyé contre 3/4 de brut.

Mode de répartition du fer ballé dans les paquets. — Quant à la répartition du fer ballé, elle est, on le voit, assez uniforme ; les couvertes enveloppent les barres puddlées sur tous les points d'un laminage difficile, c'est-à-dire dans les régions du boudin et des ailes du patin. On interrompt cette enveloppe sur la largeur de la base et vers la mi-hauteur des joues, non-seulement pour économiser du ballage, mais encore pour faciliter la compression directe des *puddled-bars* et l'écoulement des abondantes scories qu'y laisse le cinglage insuffisant des squeezers. En raison de sa faible compacité, c'est sur ce fer brut que se porte d'abord tout l'effet des cannelures du blooming, de façon qu'immédiatement après le soudage, les parties horizontales et verticales de fer corroyé se sont déjà rejointes. Le fer brut est dès lors emboîté, sur trois faces au moins, par les

ballages, ceux-ci dissimulant les défauts du premier.

Véritable effet des couvertes ballées.— On obtient ainsi des rails qui, surtout finis un peu chauds, sont très-propres à l'extérieur ; le profilage, même celui des parties les plus minces, n'y laisse point apparaître trop de criques, malgré le défaut bien constant de ces fers d'être cassants à chaud. Mais sous ce *facies* flatteur, les produits offrent-ils la solidité qu'on voudrait leur reconnnaître? N'est-ce point toujours l'histoire de la chaîne en soie et de la trame en coton?

Épaisseur des couvertes. — L'épaisseur des couvertes varie de 1 pouce à 1 pouce 1/2 (25 à 37 millim.) Au-dessous de 1 pouce, on estime que la couverte s'amincirait trop à l'étirage pour que la surface du rail résistât longtemps à la pression des locomotives. Au-dessus de 1 pouce 1/2 le réchauffage est trop long ; le fer brut se brûle avant que le fer de couverte n'ait atteint la chaleur soudante. En outre, plus la couverte est épaisse, plus elle a de tendance à glisser au laminage sur le fer puddlé, auquel elle ne se soude pas. Déjà même dans les limites d'épaisseur qui précèdent, le er puddlé, toujours plus ramolli, *fuit*, pour ainsi dire, sous le fer ballé naturellement plus dense, plus sec, moins compressible. De là une double conséquence ; les feuilles ou lames de la couverte ne se soudent pas entre elles beaucoup plus qu'elles ne l'étaient avant le travail de finissage, et elles ne s'unissent qu'imparfaitement au corps du paquet. Enfin si l'on calcule, d'après l'étirage total des paquets, l'épaisseur que prend la couverte dans le rail fini, on trouve 4 à 6 milimètres; on voit par là à quel degré de minceur doivent être réduites les lames de la couverte; il est aisé de prévoir qu'à l'usage, les éléments d'un pareil tissu se détacheront comme les torons d'une corde, au bout d'un temps très-court.

Influence des soudures intérieures. — L'état des soudures intérieures exerce naturellement une certaine influence sur

l'intensité du mal que nous venons de signaler; parfaites, elles l'atténuent sans le détruire; imparfaites, elles l'aggravent, en provoquant les déformations du rail.

Nous avons montré déjà combien les sections agrandies des paquets sont favorables au *soudage à cœur*, mais que pour en tirer le meilleur parti, il fallait que certaines conditions accessoires fussent toutes bien remplies. Or, disons d'abord, sauf à le prouver mieux plus loin, que dans le roulement précipité de la fabrication galloise, la double chaude est rarement parfaite.

En outre, la plupart des reproches adressés plus haut aux paquets de couvertes sont à faire aux trousses pour rails. L'hétérogénéité des mises, l'irrégularité du remplissage, sont à peu près les mêmes dans un cas que dans l'autre. Avec des assemblages comme ceux des *fig.* 4, 5, 7, 8 et 9, le bénéfice des grandes sections devient à peu près illusoire; entre des fers de nature si différentes le soudage a les plus grandes chances d'imperfection.

Influence des fontes à scories de forge sur le soudage. — Les résultats définitifs obtenus dans le pays de Galles ne sont cependant point aussi mauvais que tout ce qui précède semblerait le faire craindre, touchant la soudure. Ce district trouve dans la nature même de ses fers un correctif aux défauts du procédé que nous venons de décrire. Ces fers sont soudants, propriété qu'il faut sans nul doute attribuer à leur teneur en phosphore et silicium. Sous ce rapport, les scories de forge dont on surcharge les lits de fusion pour fontes à rails auraient un avantage balançant l'inconvénient de compromettre la ténacité des rails à froid. Faut-il aller jusqu'à dire, comme nous l'avons entendu soutenir par un des fabricants gallois les plus entendus, que « *les rails font un usage d'autant meilleur qu'ils* « *proviennent de fontes à doses plus élevées de scories?* » Nous ne le croyons pas tout à fait, bien que nous soyons convaincus que la ténacité à froid elle-même a des rapports

peut être aussi étroits avec le mode de soudure qu'avec la nature intrinsèque du fer.

Qualité définitive des rails gallois, marques ordinaires. — Quoi qu'il en soit, les rails ordinaires de Galles bien fabriqués ont une cassure assez homogène, cassure à gros grains, attestant la nature phosphoreuse et peut-être siliceuse du métal. Ce n'est point là le grain fin, aciéreux, qu'on recherche souvent sur le continent, au moins dans la tête du rail, et cependant le premier comme le second est un signe de rigidité et de dureté qui satisfait les consommateurs.

Différences entre les rails ordinaires et les rails supérieurs. — Quant à la résistance à froid, il faut bien admettre, en définitive, qu'elle est moindre dans ces rails que dans ceux qu'on obtient de fers plus purs et même travaillés : autrement on ne s'expliquerait pas le choix de fontes, les hautes proportions de ballages et les autres soins qu'on apporte à la fabrication des rails des Indes, par exemple. Observons d'ailleurs que, même en ce cas, les fontes sont toujours plus ou moins phosphoreuses, c'est-à-dire susceptibles de donner des fers assez soudants, même après ballage, pour amoindrir les inconvénients du procédé à l'égard de la soudure.

Procédé gallois impropre aux fers d'un soudage difficile. — Si l'on applique au contraire cette méthode à des fers d'une autre nature, à des fers moins tendres au feu, c'est-à-dire moins soudants, on pourra par des ballages en proportion convenable, disposés de la manière la plus favorable à un bon laminage, obtenir des rails d'un extérieur net et dépourvu de criques. Mais malgré les paquetages à grandes dimensions, malgré l'emploi des bloomings et de la double chaude, les défauts de soudure sont inévitables. Ils seront parfois dissimulés sous une apparence des plus satisfaisantes ; mais qu'à l'emploi, l'altération débute une fois sur un point du rail et on la verra promptement grandir par

exfoliation, c'est-à-dire par disjonction des lames qui en composent l'enveloppe.

Application du procédé gallois en France. — Ce sont là des inconvénients du procédé qu'a particulièrement fait ressortir son application dans nos forges; les fontes y sont effectivement, même là où les hauts fourneaux reçoivent des scories de forge, moins phosphoreuses qu'en Angleterre. Aussi, dernier fait à l'appui de ces aperçus, est-ce à l'emploi de matières premières de cette nature que plusieurs de nos usines doivent les succès qu'elles ont obtenus avec le procédé en question. En ne dépassant pas certaines proportions de minerais phosphoreux, dans leurs mélanges avec les minerais de bonne qualité, on a amélioré la soudure sans trop compromettre la ténacité à froid.

Fabrication des rails tout à fait inférieurs, dits rails américains.

Ce genre de fabrication paraît s'être beaucoup répandu dans le pays de Galles, surtout depuis une dizaine d'années (1).

Composition des paquets. — Le paquet *fig.* 11 se rapporte à cette sorte de produits; il est tout en fer brut. Les couvertes, figurées par des hachures, proviennent de fonte mazée; l'intérieur, de fonte blanche brute, à 40 ou 50 p. 100 de scories.

Ces trousses sont soumises à un travail à double chaude, comme dans les cas précédents.

Traits principaux de la fabrication. — Les traits principaux de cette fabrication sont les suivants : le maître de forges vise à l'extrême réduction du coût des matières premières. Tant que le fer brut demeure capable de supporter le réchauffage et le laminage pour rails, on accroît la dose

(1) Observons que déjà une certaine réaction a commencé contre ces produits de qualité inférieure; les Américains semblent en être lassés. Depuis deux ou trois ans, on fabrique davantage en Amérique et on y importe moins d'Angleterre.

des scories au haut fourneau et on précipite les opérations du puddlage et du cinglage. A cette limite seulement s'arrête cette poursuite de l'économie, parce qu'aller au delà serait s'exposer à produire un métal auquel on ne pourrait même plus donner la forme qui en assure l'écoulement. On conçoit d'ailleurs que, même dans ces limites, le travail en pareilles qualités est fort difficile ; les rebuts pour criques, fentes, pailles seraient sans doute fort nombreux, si le choix était tant soit peu sévère. Les paquets peuvent être homogènes et la soudure parfaite (ce qui est au moins douteux à cause de la malpropreté des barres puddlées), mais la résistance à froid de semblables produits doit finir par ne pas dépasser de beaucoup celle des fontes.

Substitution du fer brut aux mélanges de brut et ballé. — La substitution absolue du fer brut aux mélanges de brut et ballé usités pour rails ordinaires, a été adoptée ici dans un but exclusif d'économie. Il ne faut point confondre ce cas avec celui où, pour améliorer les soudures, on a employé des paquets composés de barres brutes aussi homogènes que possible. Alors on choisissait les fontes, on les mazait même. Les forges galloises qui appliquent ce procédé sont entrées par là dans la voie suivie par les usines du Cleveland et du Durham ; nous en parlerons bientôt plus en détail.

§ 3. *Produits et consommations des ateliers à rails.*

Nous ne rapporterons ici que quelques notes recueillies dans les principales forges à rails du pays de Galles, renvoyant pour le complément à nos tableaux de prix de revient. On trouvera particulièrement dans la section économique les consommations de houille, en bloc pour couvertes et pour rails, la comptabilité des usines ne distinguant point toujours les deux opérations.

Premier exemple.

Consistance et production d'un atelier à rails. — Un atelier comprenant 12 fours de réchauffage (1re chaude) et 5 de seconde; un blooming et un train finisseur à deux cages, produisait de 950 à 1.000 tonnes (tonnes de 2.400 liv.) par semaines de cinq jours et demi de travail. De tous ceux que nous avons visités, c'est le plus réputé pour son activité et l'économie de sa fabrication. Ajoutons que dans cette production ne sont pas comprises les couvertes; on la préparait dans une usine spéciale.

Personnel de l'atelier. — Les 12 fours de première chaude étaient servis par :

6 paqueteurs (pilers), chacun gagnant environ	5 à 6	liv. par mois.
12 réchauffeurs (*ballers*).	7 à »	—
2 aides (helpers).	3 à 4	—
2 chargeurs (chargers). . . . . } 2 déchargeurs (pulling out.). . . . . }	de 6 à 7	—
2 rouleurs de paquets (coachers).	3½ »	—

Les 5 fours de deuxième chaude occupaient :

5 réchauffeurs,
2 chargeurs,
4 déchargeurs,
3 rouleurs,
} payés aux mêmes taux que les précédents.

Enfin on comptait :

1° *Au blooming.*

3 dégrossisseurs (*roughers*).	4½ à 5	liv. par mois.

2° *Au train proprement dit.*

1 lamineur (*roller*).	10 à 12	liv. par mois.
1 aide lamineur (*helper*).	5 à 6	—
2 releveurs (*hookers*) de devant. . . } 4 releveurs (*hookers*) d'arrière.. . . }	4 à 4½	—
1 preneur (*finishing catcher*).	4 »	—

3° *A la scie.*

4 hommes gagnant.	4 à 5	liv. par mois.

4° *Au dressage et limage à chaud.*

4 hommes ou gamins. . . . . 3 à 4 liv. par mois.

5° *Au dressage à froid.*

10 presses occupant chacune 1 maître
et 1 aide, ensemble.. . . . . 9 à 10 liv. par mois.

(Ces 10 presses dressent, en outre de la production de l'usine, quelques centaines de tonnes, par semaine, de rails venant d'une forge voisine.)

6° *Aux machines à percer et à repasser ou raboter les rails.*

12 hommes, en moyenne . . . . à 3 ou 4 liv. par mois.

Soit un personnel, par poste de 12 heures, de 92 ouvriers, non compris 7 à 8 surveillants (*inspecting-men*) et des manœuvres accessoires pour transports intérieurs, pesages, etc.

Déchets et rognures. — Pour des rails à patin pesant 70 liv. par yard courant (34 à 35 kil. par mètre), cette même usine usait de paquets pesant 590 liv. ($267^k,27$) ; elle en tirait 470 liv. en rails affranchis, le déchet de feu et les rognures s'élevant donc à 120 sur 590, c'est-à-dire 20 p. 100 environ.

Deuxième exemple.

Consistance et production de l'atelier. — Un atelier comprenant 14 fours dont 10 de première chaude et 4 de deuxième; un blooming et un train à deux cages, fabriquait, le jour de notre visite, des rails à double champignon (paquet *fig.* 10). Préparant elle-même ses couvertes, elle produisait de 559 à 600 tonnes par semaine.

Le paquetage était fait par des femmes. (On estime, en Galles, qu'une femme payée 1 sh. par jour peut faire 60 paquets, ce qui ferait 10 paqueteuses pour une production journalière de 150 à 160 tonnes de rails.

Travail et personnel. — Chaque reverbère de première chaude recevait 4 paquets, pesant ensemble 1 tonne de 2.400 liv., soit 600 liv. ou 271 kil. chacun. Le réchauffage durait $1^h,30$ à $1^h,40$ minutes. Les 10 fours de première

chaude occupaient 10 chauffeurs et 2 gamins ; tous ces ouvriers se réunissant par quatre ou cinq pour le chargement et le déchargement des paquets. Le gamin attaché à chaque brigade ouvre et ferme la porte. Il y a de plus 2 rouleurs à chariots, l'un pour conduire le paquet au trio, l'autre pour le ramener au four de deuxième chaude.

Service du trio-blooming. — Le trio-blooming employait : 1 lamineur, 1 rattrapeur et 1 gamin pour la manœuvre du releveur mécanique à vapeur.

En tout, le personnel de la première chaude comprenait donc : 14 hommes et 3 gamins, payés aux mêmes conditions que ci-dessus.

Quatre à cinq minutes étaient nécessaires pour le passage des 4 paquets d'une charge et cinq minutes pour le chargement ; soit en tout neuf à dix minutes, ou bien quatre-vingts-dix à cent pour les 10 fours. Le trio marchait donc continuellement, sauf les intervalles de chargements. Chaque paquet passait d'ailleurs quatre fois au blooming, tour à tour à plat et de champ.

Travail du finissage. — Les réverbères de deuxième chaude recevaient 4 blooms, qui y demeuraient vingt minutes ; le chargement et le déchargement durent dix autres minutes ; soit, en tout, une demi-heure par chaude de finissage. En d'autres termes, un fourneau finisseur (wash ou re-heating) pourrait théoriquement desservir 3 fours au moins de première chaude ; mais, en pratique, ce rapport descend à 2 1/2.

La personnel de 4 fours finisseurs était de 4 réchauffeurs et 1 gamin ; un charriotteur emmenait le bloom au train de laminoirs. Celui-ci occupait :

1 maître lamineur et son aide ; 1 preneur et son aide ; 2 releveurs d'avant ; 2 releveurs d'arrière et traîneurs jusqu'à la scie ; en tout 8 hommes.

Le bloom passait quatre fois à la cage ébaucheuse : à

plat, sur champ, à plat, à plat; et cinq fois à la finisseuse, tous passages sur champ des mises du paquet.

L'étirage de chaque bloom pour rail durait à peu près une minute; le train fonctionnait, comme le trio, d'une façon presque continue.

Observations sur les résultats précédents.

Productions par jour et par four. — On déduit aisément de ce qui précède que les productions par vingt-quatre heures et par four de première ou de deuxième chaude sont, en rails finis, de 10 tonnes à 10 tonnes 1/2 de 2.400 livres dans le premier et de 9 à 9 1/2 dans le second. On n'arriverait même qu'à 7 ou 8 tonnes dans ce dernier cas, si l'on prenait pour point de départ la production hebdomadaire que nous avons indiquée; mais, dans ces conditions, les deux exemples ne seraient pas comparables, puisque, dans le second, la fabrication de 30 à 40 p. 100 de ballages pour couvertes s'ajoute à la production nette en rails. Le produit journalier de 9 tonnes à 9 tonnes 1/2 est déduit, au contraire, de la durée de la double chaude : à ce taux, ce ne serait pas 550 à 600 tonnes, mais bien 700 à 800 tonnes que la seconde forge serait capable de fabriquer par semaine.

Relations entre la qualité des rails et la production journalière d'un four. — La production de cette forge n'en demeure pas moins inférieure à celle de la première. Cela peut tenir, en partie, à des différences de force dans les machines motrices : nous avons dit que le laminage au train finisseur durait une minute environ dans le second exemple; mais, dans le premier, on passait 8 rails en 5 minutes. Néanmoins, l'inégalité du produit journalier des fours de réchauffage est bien plutôt due à ce qu'on recherche moins la qualité des produits dans le premier cas que dans le second. Sans nul doute, cette rapidité du travail procure des économies importantes au fabricant; mais

combien de fois arrive-t-il aussi que les chaudes sont incomplètes? C'est là le désavantage de ces fabrications précipitées dont nous avons déjà parlé comme amoindrissant beaucoup les effets des paquets à grandes sections.

Nous pourrions multiplier les exemples de roulement, et nous y observerions constamment des différences de cette sorte entre les forges qui soignent la qualité et celles qui la négligent. La hâte du travail devient de plus en plus grande à mesure qu'on se rapproche des rails américains. C'est ainsi que le paquet, *fig.* 11, ne restait guère au feu qu'une heure et quart environ, car on faisait dix chaudes de quatre paquets en douze heures. Il ne recevait au plus que trois passages au blooming et celui-ci desservait dix fours.

Progrès réel du laminage. — Avant de laisser ce sujet, remarquons que, même dans les forges où la fabrication n'a qu'une activité moyenne, les laminoirs fonctionnent avec une étonnante rapidité. Le passage d'un paquet ou bloom de 250 à 300 kil. ne dure pas plus de temps que celui d'une loupe brute de 25 à 30 kil. Il est vrai que le service est fait par un personnel de choix, énergique et vigoureux. Mais ce travail expéditif des cylindres tient pour beaucoup aux installations mécaniques qui facilitent le maniement des paquets et aux accroissements de puissance qu'ont reçus les moteurs. Moyennant ces conditions et avec un bon personnel, divisé convenablement par postes pouvant se relever au travail, l'un des maîtres de forges les plus habiles du pays de Galles nous affirmait qu'un *blooming* pourrait desservir vingt fours de première chaude.

CHAPITRE II.

FABRICATION DES RAILS DANS LE CLEVELAND ET LE DURHAM.

Traits généraux de la fabrication dans ce district. — Les forges du Cleveland et du Durham s'occupent rarement de la fabrication des rails de qualité inférieure (rails américains). On y produit également peu de rails à couvertes ballées proprement dites. L'emploi de fontes grises n°s 3 à 5, l'usage de couvertes en fer brut (*slabs*) parfaitement cinglés au marteau, le fer brut même qu'on destine à l'intérieur des paquets provenant toujours d'un puddlage et d'un cinglage soignés, voilà les traits généraux de la méthode suivie dans la majorité des forges de ce groupe. C'est par là qu'elle diffère du procédé gallois; car le travail de finissage, en deux chaudes, avec ou sans blooming, est à très-peu près le même dans l'une et dans l'autre. Toutes les opérations complémentaires s'exécutent aussi dans le Cleveland avec les mêmes outils mécaniques que dans le pays de Galles.

Après les détails que nous avons donnés sur les forges galloises, nous insisterons donc peu sur les appareils de laminage et autres, nous bornant à quelques renseignements sur les dispositions, quelquefois plus simples dans le Cleveland et le Durham. Nous nous arrêterons davantage sur le choix des fontes, sur la préparation des fers bruts et la confection des paquets.

§ 1. *Choix des fontes.*

Diverses sortes de rails. — *Pour rails ordinaires* du Cleveland, on puddle : 1° les fontes grises, quelquefois truitées, du Cleveland, provenant de lits de fusion où il n'entre que peu ou point de scories de forge ; 2° les fontes grises n° 4, mélangées de proportions variables de fin métal, même provenance. Les fers bruts de la première

sorte sont destinés à l'intérieur des paquets, et ceux de la seconde aux slabs de couvertes.

Rappelons que les minerais du Cleveland sont phosphoreux, sans porter en eux, comme les minerais houillers, le correctif de ce défaut, le manganèse. L'absence de ce moyen d'épuration fait que les fontes retiennent à la fois du soufre et du phosphore. Mais, grâce à l'emploi fort restreint des scories, les fontes grises du Cleveland sont certainement moins chargées de ces deux éléments que les fontes blanches de Galles.

Pour rails supérieurs, on puddle : 1° un mélange de fonte grise n° 4 et de floss mazé lamelleux pour l'intérieur des paquets; 2° mélange semblable additionné quelquefois de fontes tenaces du Lancashire et du Cumberland pour slabs de couvertes.

Le peu de rails communs que prépare ce district s'obtient par des fontes blanches ou truitées à fortes doses de scories, qui rappellent beaucoup celles du pays de Galles.

§ 2. *Mazéage et puddlage. Préparation des couvertes en slabs.*

Mazéage exclusif pour floss blanc lamelleux. — Au sujet du mazéage, observons que, même pour rails, le Cleveland et le Durham ne finent que pour floss blanc lamelleux; qu'on y a conservé le feu de finerie en gueusets, comme préférable aux mazeries accolées aux hauts fourneaux du pays de Galles sous le rapport de la régularité des produits.

Puddlage chaud de fontes grises ou de floss lamelleux. — Le puddlage pour fers bruts d'intérieur ou de couvertes des paquets est un puddlage chaud sous abondante couche de scories, en tout semblable à celui décrit pour les barres marchandes du Staffordshire, de l'Écosse, etc. C'est à partir du cinglage que diffère le travail, suivant qu'il s'agit de barres d'intérieur ou de slabs pour couvertes.

Préparation du fer pour l'intérieur des paquets. — Dans le premier cas, les loupes sont soigneusement cinglées au marteau frontal, plus rarement au squeezer : les blooms sont immédiatement laminés pour barres généralement *très-propres, à grains plutôt qu'à nerf.*

Préparation du fer (slabs) *pour couvertes.* — Dans le second cas, les loupes sont martelées longtemps pour prismes plats; ceux-ci, reportés encore rouges sur la sole du puddling, sont assemblés par deux ou par trois et martelés de cette demi-chaude supplémentaire pour un nouveau bloom que le laminoir transforme de suite en un larget de $0^m,20$ à $0^m,25$ de largeur et de 1 pouce à 2 pouces 1/2 ($0^m.025$ à $0^m.060$ d'épaisseur). C'est là une sorte de demi-ballage immédiat, mais un ballage au marteau, avec réduction au minimum du nombre et des surfaces des mises. En outre, par le fait d'un puddlage et d'un cinglage soignés, le fer ainsi assemblé est non-seulement très-propre, mais encore homogène et semblable à lui-même. Enfin, c'est un fer jeune, encore assez carburé et phosphoreux pour conserver toute sa soudabilité.

Dans quelques cas, on ne reporte même pas les slabs au four à puddler, mais on double immédiatement les loupes au marteau, comme nous l'avons exposé au sujet des fers marchands du Staffordshire.

Rails supérieurs. — Par contre, pour rails tout à fait supérieurs, on améliore encore toutes les parties de la fabrication des slabs. Citons à cet égard l'exemple suivant relevé dans une forge qui préparait spécialement des rails pour les Indes.

Puddlage pour fer à grain aciéreux. — La charge du puddlage comprenait :

300 liv. de fonte grise n° 4 du Cleveland.
100 liv. fin métal n° 4 du Cleveland.
50 liv. fonte grise n° 4 du Lancashire.

On supprimait parfois les 50 livres du Lancashire et l'on traitait simplement un mélange de 3/4 brut pour 1/4 mazé. On puddlait chaud et pour fer à grain. Dès que la fonte était fondue, on ajoutait au bain un petit baquet plein de sel marin mélangé d'acide chlorhydrique (*spirit of salt*). Le but de cette addition était sans doute, dans l'opinion du maître de forges, une épuration plus active du métal; mais peut-être, comme la plupart de celles qu'on pratique dans les puddlages pour acier, ne réagissait-elle que pour rendre les laitiers plus maigres et plus liquides.

Ballage immédiat pour couvertes. — Quoi qu'il soit, l'effervescence et le brassage terminés, on faisait rapidement quatre loupes de la charge susdite. On les soudait au marteau, les réduisant ainsi à deux blooms plats qui, encore rouges, étaient mis en paquet l'un sur l'autre, non au puddling, mais à un *balling-furnace*. Ce paquet recevait là une chaude suante rapide, passait ensuite sous un marteau de 5 tonnes, qui le transformait en une plaque de 4 pieds de longueur sur 6 pouces de section en quarré. De la même chaude, le laminoir étirait cette pièce sous forme de larget de 8 pouces ($0^m,25$) de largeur et 2 pouces ($0^m,05$) d'épaisseur. Ce larget, encore rouge, était cisaillé de longueur pour le paquetage ultérieur.

On obtenait, par ce procédé, des couvertes dont la cassure offrait un grain fin et aciéreux, qui persistait d'ailleurs pendant le laminage pour rails.

§ 3. *Composition des paquets pour rails.*

On a généralement admis, dans les districts qui nous occupent, les principes des grandes sections transversales de paquets, comme les autres détails du finissage de la fabrication galloise.

Pour rails ordinaires, la *fig.* 14, Pl. VI, représente le mode d'assemblage le plus répandu. Les seuls éléments

variables sont l'épaisseur de la couverte et la proportion de fer de slabs. En général, des paquets pour rails, pesant 70 livres le yard (30 à 35 kil. le mètre) comprennent : *à l'extérieur*, haut et bas, des couvertes de 1 pouce 1/2 à 2 pouces ou 2 pouces 1/4 d'épaisseur ; *à l'intérieur*, sept assises de *puddled bars* de 3/4 pouce d'épaisseur.

Pour rails à patins, on n'emploie que la couverte supérieure ; au bas du paquet se disposent deux languettes latérales en fer corroyé (*roughed-down*), ainsi que le montrent les *fig.* 12, 13. Indépendamment de ce fer corroyé, les paquets comprennent environ 1/3 de slabs et 2/3 de puddled bars. C'est avec des paquets de ce genre qu'on a fabriqué les rails de la grande compagnie des chemins russes, dans une ou deux des forges que nous avons visitées.

La *fig.* 14 comporte même une proportion plus élevée de slabs. Toutes les parties hachées, sauf le prisme x et les languettes l, l, sont en fer de cette nature. Le prisme x est en bouts de rails, immédiatement laminés sous cette forme, à la sortie du sciage, c'est-à-dire sans nouvelle chaude. Cette transformation, si peu coûteuse, offre un moyen très-simple d'utiliser les rognures et rebuts, autrement qu'en les introduisant au milieu des paquets, au risque d'en compromettre le remplissage et la soudure.

Enfin, la *fig.* 15 est la coupe d'une trousse pour rails à patins tout à fait supérieurs : les deux plaques a et b, destinées à faire la partie roulante du rail, sont en fer demiballé de même qualité : elles ont la même épaisseur. Les deux inférieures c et d (pied du rail) sont en *roughed-down*, provenant, soit de bouts de rails laminés, soit mieux de paquets en fer puddlé, homogène.

Influence de l'homogénéité des paquets sur la soudure. — Sauf ce dernier modèle, on peut dire que les paquets à rails du Cleveland et du Durham réalisent, d'une façon satisfaisante, les conditions d'homogénéité dont on se préoc-

cupe depuis plusieurs années. Les puddled bars de l'intérieur des trousses sont de même nature que les slabs des couvertes. Le fer brut de celles-ci a subi, il est vrai, un travail un peu plus complet que les premières, travail sans lequel le laminage ne parviendrait peut-être pas à la netteté extérieure qu'on recherche dans les produits finis. Mais on abrége, autant que possible, la durée de cette manipulation; on abrége surtout la durée de la demi-chaude, en reportant au feu les lopins ou slabs encore rouges. Ce qui prouve, au reste, le peu de différences qu'offrent les fers d'intérieur et d'extérieur sous le rapport du degré de soudabilité, c'est l'épaisseur qu'on a pu donner aux couvertes sans danger d'inégalités dans le chauffage.

Il semble donc qu'avec des paquets à grandes sections et des chauffages à deux chaudes, le soudage de la couverte avec le corps, et des barres d'intérieur entre elles, doit être aussi parfait que le permet le laminoir.

D'un autre côté, quoi qu'il arrive de ces premières soudures, le mode de préparation des couvertes, leur hauteur, assez grande pour laisser, même après étirage, une épaisseur importante à la tête du rail, nous semblent amoindrir beaucoup les dangers d'exfoliation superficielle. Au lieu d'un faisceau de minces lames comme dans le procédé gallois, c'est ici une couverte dense et homogène, comme toute plaque convenablement martelée.

Cas particulier du paquetage. — Quant au mode d'assemblage indiqué par la *fig.* 15, on prétendait obtenir ainsi une dureté et une compacité superficielles très-satisfaisantes, en même temps qu'une grande résistance à la rupture dans le pied du rail. On supposait les soudures aussi parfaites que possible, malgré la différence de nature des plaques inférieures et supérieures. Le petit nombre des mises, le peu d'étendue de leurs surfaces de joints, enfin la grande propreté des plaques, sont autant de raisons qui sembleraient motiver ces conclusions favorables sur le sou-

dage. Observons, toutefois, que son imperfection a pu échapper au consommateur, à cause de la position même de la ligne de soudure la plus délicate dans la région inférieure du rail.

Difficultés du travail. — Quoi qu'il en soit à cet égard, la composition du paquet, *fig.* 15, comme les languettes de fer *l*, *l* (*fig.* 14), disposées au bas des trousses pour rails ordinaires à patins, porte à croire que les fabricants de ce district n'ont pas une confiance très-grande dans la qualité à chaud plus que dans la ténacité à froid de leurs fers. Certainement ils sont supérieurs, et de beaucoup, aux fers à rails gallois : le mode même de travail qu'on leur applique comprenant des cinglages sous des marteaux de 4 à 5 tonnes (de 2 à 3 au moins), est la meilleure garantie sous ce rapport. Mais il faut néanmoins des soins au laminage, c'est-à-dire un travail chaud, si l'on veut éviter les criques; il faut mazer plus ou moins, selon que l'on tient à garantir la ténacité à froid des rails.

Résumé sur les rails du Cleveland. — En résumé :

Les rails fabriqués par le procédé du Cleveland, quand on les a finis à une chaleur convenable, sont d'une grande netteté extérieure.

La cassure présente une homogénéité qui s'explique par la qualité uniforme des fers employés : on n'y distingue point aussi nettement que dans les rails de Galles les lignes de soudure, preuve ordinaire de l'imperfection de celle-ci.

La texture offre un grain qui, sauf dans les qualités tout à fait supérieures, n'est point encore le grain aciéreux pur; mais si la nature un peu phosphoreuse du métal peut faire craindre pour sa résistance à froid, ici encore bien mieux que dans le procédé gallois, la perfection des soudures compense, dans les rails ordinaires, une partie de cet inconvénient.

La méthode du Cleveland vaut donc mieux, en définitive, que celles de Galles; nous montrerons d'ailleurs que

l'écart des prix de revient de ces deux contrées n'est point assez grand pour effacer cette supériorité de la première méthode sur la seconde. Mais il faut observer que cela tient aux circonstances éminemment favorables dans lesquelles se trouvent les forges du Cleveland.

Difficultés inhèrentes au procédé. — Partout ailleurs, la nécessité de se procurer des fontes grises, toujours plus coûteuses que les blanches ou truitées; l'obligation de puddler chaud et de cingler au marteau, entraîneraient des excédants de frais que ne compense pas la substitution du fer de slabs, à demi ballé, au fer complétement corroyé. Reste seulement à savoir si des fontes truitées, provenant *de bons minerais*, ne suffiraient pas, tout en comportant un puddlage moins coûteux que les fontes grises très-chaudes; à savoir si l'on ne parviendrait pas par là et par les 10 ou 12 sh. de différence par tonne, dans le coût des *roughed-down* et des *slabs*, à étendre notablement l'application du procédé du Cleveland. Peut-être pourrait-il s'introduire ainsi dans nos forges, où il est encore à peu près inconnu?

§ 4. *Quelques renseignements sur les produits et consommations de ce district.*

1er Exemple. *Consistance et production d'un grand atelier à rails de Cleveland.* — L'un des plus grands établissements du groupe du Cleveland et du Durham, qui a produit 25.000 tonnes de rails en 1859, comprend :

12 fours de première chaude au service d'un Trio-blooming.
4 fours de deuxième chaude au service d'un train finisseur.

Au lieu de 50 tonnes de production hebdomadaire, comme en 1859, on estime qu'on pourrait aisément faire le double avec des commandes régulières et abondantes.

Consommations et main-d'œuvre. — La consommation

de houille, tout-venant, était de 18 quintaux par 20 quintaux de rails finis; la main-d'œure, organisée à peu près comme dans le pays de Galles, s'élevait au total de 11 sh. 10 d. par 1.015 kil. de rails finis. On voit que ce sont là des chiffres plus élevés que ceux du pays de Galles, ce qui tient aux différences mêmes des procédés; car les ateliers du Cleveland et du Durham sont pour le moins aussi bien outillés que les similaires gallois.

2° Exemple. *Atelier de moindre importance.* — Nous insisterons plus particulièrement sur l'installation et le roulement d'une des forges de ces districts, d'une consistance un peu plus réduite que les précédentes et qui ressemble davantage, par ce motif, aux forges françaises.

Cet établissement comprend 2 hauts fourneaux, 40 fours à puddler, et fait, année moyenne, 20.000 tonnes de fers finis.

L'atelier à rails renferme :

1° Une machine motrice, à cylindre horizontal, sans engrenage; les dimensions du cylindre sont : 26 pouces de diamètre, 3 pieds de course; la pression de la vapeur est de 40 liv. par pouce quarré, et la vitesse communiquée par ce moteur au train à rails est de 70 tours par minute.

2° 5 fours de première chaude et 2 de seconde.

Avec ce matériel et les laminoirs dont nous allons parler, on ne produit que 30 à 35 tonnes de rails par 12 heures, soit à cinq jours et demi par semaine, 330 à 385 tonnes, mais en qualité généralement supérieure, à destination des Indes.

Installation des laminoirs. — Le laminage se fait toujours en deux chaudes; mais il n'y a plus ici ni trios ni releveurs mécaniques : les cannelures soudantes du blooming sont disposées sur la cage dégrossisseuse même du train proprement dit. Les *fig.* 24 à 27, Pl. VI, représentent les cylindres dégrossisseurs et finisseurs de cet équipage, pour rails à patins et pour rails à double champignon.

On n'a donc pas craint des cylindres ébaucheurs de $1^m,90$ de longueur entre cages. On n'a pas craint non plus les retards du laminage, par la suppression de tous moyens facilitant la manœuvre des paquets. L'installation en est plus simple et moins coûteuse ; mais rappelons qu'il s'agit ici de la fabrication de rails tout à fait supérieurs, en qualité Cleveland. C'était pour ces rails qu'étaient préparées les couvertes en slabs aciéreux dont nous avons spécialement parlé précédemment. On travaille fort lentement, un seul et même personnel desservant alternativement les deux cages de train.

Nombre des cannelures. — Le nombre total des cannelures est : pour rails à patins, de 15, se réduisant à 13, à cause de l'identité des deux dernières finisseuses, qui servent à tour de rôle ; pour rails à double champignon, de 13, soit de 12 par la même raison. Dans le premier cas, sur 13 cannelures, les quatre premières sont quarrées et remplacent celles des bloomings ordinaires ; sur ces quatre passages, un seul, le deuxième, est donné de champ ; les autres à plat.

Dans le second cas, le nombre des passages soudants n'est que de 3 : deux à plat, un de champ.

Le profilage suit le soudage. — Le profilage, dans les deux cas, ne commence donc qu'à la seconde chaude, alors que la section de la trousse a été réduite de plus de 50 p. 100. En outre, si l'on examine les cotes que portent les tracés, on reconnaîtra avec quelle lenteur procède ce profilage, surtout dans le cas des rails à patins ; quels soins l'on prend pour les bien souder à cœur. Les deux premiers passages de la deuxième chaude ne font que façonner le bourrelet du patin, la pression qu'on lui donne ne dépassant pas 25 millimètres, tandis qu'elle est de 40 à 45 millimètres sur le reste de la section. Alors que le bloom est encore au blanc ou à peu près, on lui donne en plus deux passages à plat dans les ébaucheuses n°s 7 et 8, où le rail prend sa hau-

teur, à peu près définitive, sous une pression de 45 à 50 millimètres. La région extérieure du patin ne prend qu'un tirage de 15 à 20 millimètres en passant du n° 6 au n° 7; mais le cylindre mâle porte une saillie au milieu de la cannelure qui, en creusant le plat du bloom, accroît beaucoup le serrage sur toute l'étendue des deux ailes du patin, de façon à en parfaire le soudage. Ce dernier trait, emprunté aux tracés pour fers creux, nous paraît d'une heureuse idée.

Aux finisseurs, un premier passage à plat rabat les ailes relevées par la saillie dont il vient d'être parlé. Ce n'est qu'à la seconde finisseuse, c'est-à-dire au dixième passage depuis le commencement du laminage, que débute le profilage de la tige et du boudin. La masse destinée à les fournir, convenablement soudée par les passages antérieurs, peut supporter, quoique déjà moins chaude, des pressions encore élevées, sans s'ouvrir ou criquer, comme cela arrive souvent aux profilages trop hâtifs.

Qualité des rails. — Après ces détails sur les cannelures, si l'on se souvient des soins donnés à la préparation des fers et particulièrement des couvertes, si nous ajoutons que les chaudes sont toujours données à plein, on comprendra pourquoi ces rails sont réputés supérieurs.

Consommation et déchets.—Les consommations moyennes d'une semblable fabrication sont moins élevées qu'on ne pourrait le supposer d'abord.

Par tonne de rails finis (1.015 kil.), la consommation de houille noisette, du puddlage au finissage, s'élève à 2^t,10 (42 quintaux), non compris la houille correspondante au coke de mazéage. La seule dépense du puddlage s'élève là-dessus à une moyenne de 27 quintaux (1^t,35), ce chiffre élevé tenant à la fois à la nature du travail en fonte grise et à la chaude supplémentaire qu'entraîne le ballage pour *slabs*.

Le déchet total sur la fonte (moyenne d'une année)

serait de 25 p. 100, 100 de fonte donnant 75 de rails finis. Observons tout de suite que ce déchet serait notablement inférieur à celui du pays de Galles, qui oscille entre 27 et 33 p. 100 : cette différence tient pour beaucoup à l'impureté des fontes galloises. Par contre, nous verrons, aux renseignements économiques, que la main-d'œuvre ici, comme dans tout le groupe qui nous occupe, est notablement supérieure à ce qu'elle est en Galles.

CHAPITRE III.

FABRICATION DES RAILS ET BANDAGES DANS LES FORGES A FER PROPREMENT DITES (YORKSHIRE, STAFFORDSHIRE, DERBYSHIRE, ETC.).

Défauts des procédés du pays de Galles et du Cleveland. — Nous pensons avoir fait ressortir assez dans les deux chapitres précédents qu'en cherchant à assurer la perfection de la soudure, les forges à rails du Cleveland et du pays de Galles sacrifient toujours plus ou moins la ténacité à froid. Nous avons montré aussi dans ce double fait l'influence persistante de la nature des matières premières : si elle favorise la soudure, c'est presque toujours au détriment de la résistance des rails au choc et à la flexion.

Par un choix plus sévère des fontes et par un emploi plus développé du marteau, les forges à fer proprement dites du Yorkshire, etc., cherchent, au contraire, à atteindre simultanément les deux résultats.

Procédé de Lowmoor et de Bowling. — En tête des usines qui se livrent à cette fabrication, il faut encore citer *Lowmoor* et *Bowling.* Dans la visite que nous avons faite au premier de ces établissements, nous n'y avons point vu fabriquer de rails, mais seulement des bandages. Le procédé étant à peu près le même pour les deux produits, nous

donnerons quelques renseignements sur la préparation du second.

Les fragments de *stamps* puddlés et martelés, dont il a été question à l'article des fers en barres de Lowmoor, sont assemblés en trousses. Celles-ci, réchauffées au blanc soudant, sont soudées au marteau, qui les réduit en blooms plats, sorte de *slabs*.

Ces slabs sont successivement réunis au marteau en nombre correspondant au poids du bandage à obtenir. La pièce, après un nouveau réchauffage, est *étirée* au marteau jusqu'à transformation en barre de 1^{m},50 à 2 mètres de longueur, qui, déjà, présente grossièrement le bourrelet du bandage, venu dans une matrice au dernier martelage.

Four à réchauffer, à deux chauffes. — La longueur de cette barre en rendrait le chauffage uniforme difficile dans les réverbères ordinaires : aussi a-t-on adopté un fourneau à deux chauffes placées aux extrémités de la sole, suivant une disposition à très-peu près semblable à celles que représentent les *fig.* 4, 5, 6, Pl. IX. Les portes de travail, situées à l'extrémité du grand axe de la sole, facilitent l'introduction et la sortie de ces blooms allongés (1).

La barre de bandage, amenée à une bonne chaleur rouge, uniformément sur toute sa longueur, par un séjour de trois quarts d'heure environ sur la sole de ce fourneau, était définitivement profilée par cinq cannelures finisseuses et prête au cintrage.

Encore très-rouge à la sortie du laminoir, elle était aspergée d'eau et nettoyée ainsi de toutes les battitures superficielles. On la sciait immédiatement des deux bouts et

(1) Le fourneau que nous rapportons ici comme semblable à ceux de Lowmoor a été construit, en 1859, par M. Coingt, ingénieur sous-directeur de l'usine Saint-Jacques de Montluçon. Il sert au réchauffage de deuxième chaude, dans la fabrication des gros fers de construction dont nous avons dit quelques mots à l'introduction de cette quatrième partie.

toujours de la même chaude; on la cintrait par une machine analogue à celles que nous connaissons sous le nom de machines Buddicom et appliquées, en France, soit au cintrage, soit même au laminage des bandages.

Après refroidissement, le soudage des bouts affranchis se fait par un travail de forge à bras ordinaire. L'usine de Lowmoor livre d'ailleurs les bandages finis, c'est-à-dire cintrés et soudés ou bien en simples barres profilées et affranchies.

Valeur des bandages et rails de Lowmoor. — Les bandages et les rails ainsi fabriqués sont classés à très-peu près au même rang que les produits de mêmes noms que plusieurs de nos usines préparent avec des aciers naturels ou des fers à grain aciéreux. Sauf la nature des matières premières (fontes), les procédés suivis dans les deux pays se ressemblent beaucoup. Peut-être use-t-on chez nous un peu plus du laminoir que du marteau. C'est très-probablement à la pratique inverse, c'est-à-dire à l'emploi presque exclusif du marteau, que Lowmoor doit de racheter l'infériorité incontestable de ses fontes au coke, de minerais houillers, vis-à-vis de nos fontes au bois, aciéreuses et manganésifères. Ainsi l'on s'explique que cette usine obtienne pour ses produits des prix égaux à ceux de nos forges et aciéries. Ajoutons que les prix de revient de *Lowmoor* sont assez élevés pour permettre la concurrence à nos usines de France. Cela ressortira de l'élévation et de la constance des prix de vente de l'usine anglaise, que nous rapporterons plus loin; mais ce qui le prouve surabondamment, c'est que, récemment, une usine française l'emportait sur Lowmoor dans une fourniture de bandages pour les chemins de fer russes.

Rails supérieurs de quelques autres forges. — Maintenant, entre les rails de qualités et prix aussi élevés et les meilleurs de ceux dont il a été question aux deux chapitres précédents, certaines forges à fer marchand en préparent

d'intermédiaires. Citons-en, pour finir sur ce sujet, un exemple emprunté à une note publiée par M. Desbrière dans les *Comptes rendus de la Société des ingénieurs civils* (1).

Cet exemple se rapporte à l'usine de *Park-Gate*, près de *Rotherham* (*Derbyshire*). C'est une forge à barres marchandes, dont le fer serait, d'après l'auteur de la note, mou et ductile, mais peu rouverin. Le procédé suivant y était appliqué aux fournitures d'un des principaux chemins de l'Angleterre, du *Great-Northern* :

« Les couvettes proviennent directement de loupes éti« rées au marteau frontal, *sans laminage*. Les couvertes « ainsi obtenues ont 10 pouces sur 1 pouce 1/4 (0^m,250 sur « 0^m,031). Elles entrent sous cette forme dans la compo« sition du paquet. Pour quelques compagnies qui l'exigent « encore, on leur fait subir une chaude et un laminage « supplémentaires. Mais, pour aucune, on ne fait de pa« quets pour couvertes, de sorte que les couvertes sont « toujours d'une seule pièce et sans soudure. Quelquefois « seulement, quand une loupe ne suffit pas, on en réunit « deux au sortir du four à puddler, et on les martelle en« semble pour former une couverte.

« Le paquet pour rails a $10^{po}/10^{po}$, soit 0^m,25/0^m,25 ; on « y tolère des bouts coupés dans le milieu. Il passe d'abord « dans les trois premières cannelures de l'ébaucheur, qui « est à mouvement alternatif et qui fait ainsi fonction de « blooming. Il passe dans la première cannelure à plat, « dans la seconde sur champ, dans la troisième à plat et « *deux fois*. Il a alors 7 pouces ou 0^m,175 sur 0^m,175. Il est « remis au four et passe alors dans la dernière cannelure de « l'ébaucheur et du finisseur, qui, étant monté sur les « mêmes arbres que l'ébaucheur, est également à mouve-

(1) *Mémoires et comptes rendus de la Société des ingénieurs civils*, 2e série, 12e année, 4e cahier, 1859, pages 459 et 460.

« ment alternatif. Les machines sont un peu faibles, mais « la nature du fer et la composition du paquet (tout en fer « du même numéro) sont telles que la soudure de ces rails « est parfaite.

« Le prix des rails de *Park-Gate* est de 28f,75 les 100 kil. « rendus à Liverpool. Ce prix est énorme pour l'Angleterre; « mais plusieurs compagnies aiment mieux le subir que de « prendre les rails à bas prix du pays de Galles. Les fabri- « cants acceptent avec le *Greath-Northern* un délai de ga- « rantie de sept années. Ce fait est la meilleure preuve de « la bonne qualité de ces rails et de l'importance majeure « de la bonne soudure; car, je le répète, le fer de Rother- « ham est un peu mou et serait considéré par beaucoup de « personnes comme impropre à faire des rails. »

Écart de prix entre les rails supérieurs et les fers marchands. — On verra, par le tableau des prix que nous rapporterons plus loin, que les rails de Rotherham sont intermédiaires entre ceux de Lowmoor et les meilleurs du Cleveland. Observons seulement ici que ce haut prix ne semble point motivé absolument par le seul mode de confection des couvertes, même en tenant compte du coût vraisemblablement élevé des fontes traitées à Rotherham. Les détails très-succincts donnés par M. Desbrière sur l'installation des laminoirs nous font supposer que l'outillage n'y a pas la puissance et la capacité de production que nous avons observées dans les forges galloises ou du Cleveland. C'est là une circonstance qu'on retrouve plus ou moins dans toutes les usines à fer marchand qui ne s'occupent des rails que d'une façon intermittente. Ces produits y reviennent notablement plus cher qu'ailleurs, par cette raison, en même temps que par celles d'un procédé plus soigné et de matières premières plus choisies. Les rails, en un mot, y sont des *extrà*, au même titre que les fers de construction dont nous allons dire quelques mots.

CHAPITRE IV.

QUELQUES NOTES SUR LA FABRICATION DES CORNIÈRES, FERS A T, ETC.

Les forges à fer marchand seules s'occupent, en Angleterre, de la fabrication des fers à *cornières*, *T simples ou doubles*, du moins des petites et moyennes dimensions qui font encore aujourd'hui la majeure partie de la consommation en ces sortes de fers ouvrés.

En raison des usages auxquels ces produits sont destinés, usages qui exigent presque tous une grande résistance à froid, on ne peut plus se borner, dans leur fabrication, aux soins de la soudure. Les difficultés du profilage sous angles vifs, sur faibles épaisseurs, souvent aussi sur grandes surfaces, obligent d'ailleurs le maître de forges à l'emploi de fers qui ne soient pas rouverins. Aussi les bonnes fontes au coke ou les fontes mazées, les riblons de choix, sont-ils les matières principales de cette fabrication, sinon pour le corps des paquets, du moins pour les couvertes ballées qu'on y emploie généralement.

Exemples. C'est au district de Staffordshire que nous empruntons les deux exemples que nous allons rapporter.

1° Pour gros fers d'angles de 3 pouces sur 5, les paquets étaient composés de deux couvertes en fer ballé et de fer puddlé de fonte grise au coke, de minerai houiller. Ils avaient une section de 7 pouces de haut sur 8 de large.

Une première chaude était suivie d'un laminage soudant qui réduisait la section à 5 pouces sur 4. Le bloom était reporté au feu, et de cette deuxième chaude, on finissait la pièce en cinq passages.

2° Pour fers à T simples de 3 pouces de largeur à la tête, 2 pouces 1/2 de hauteur et 1/4 pouce d'épaisseur à la tige, le paquet comprenait : extérieurement, 2 couvertes en fer ballé, la supérieure de 3/4 pouce d'épaisseur et

l'inférieure de 1/2 pouce; intérieurement, cinq assises en fer puddlé. La hauteur totale de la section était de 5 à 6 pouces, et la largeur de 5; le poids du paquet était de 150 livres environ.

Pour cette épaisseur de 1/4 pouce à la tige, le fer ballé de la couverte supérieure était en riblons de choix corroyés.

Dans la même forge, les paquets pour cornières d'épaisseur plus grande se composaient exclusivement de fer brut, les couvertes en largets d'une seule pièce provenant de loupes doublées au marteau.

Le matériel de l'atelier où se fabriquaient les T simples comprenait : 2 réverbères et 2 cages (dégrossisseuse et finisseuse). Sur la première de ces cages, 7 cannelures dont les trois premières, *soudantes*, à section rectangulaire et les autres à section ogivale. La cage finisseuse portait 4 cannelures profilantes.

On chargeait environ 2.400 liv. à la fois dans chaque fourneau. A ce taux et avec un personnel de deux chauffeurs, aidés d'un seul homme pour chargement et décharment, un maître lamineur, chef d'atelier, un aide, deux rattrapeurs, cinq gamins releveurs, traîneurs et dresseurs, on produisait de 20 à 22 tonnes par vingt-quatre heures. On consommait 1.350 liv. de charbon grêleux par 2.400 liv. de T finis, soit 55 p. 100, les déchets de feu variant de 8 à 10 et les rognures de 10 à 12 p. 100.

SECTION DEUXIÈME.

Partie économique de la fabrication des fers profilés.

Le pays de Galles, marché régulateur des rails. — Si, à défaut de statistique plus complète sur la production des rails en Angleterre, on consulte les tableaux annuels d'exportation en cette sorte de produits, on reconnaîtra combien le pays de Galles l'emporte sur les autres districts par la quotité de ses expéditions. Nous trouvons en effet, dans les *Mining-records* de M. R. Hunt, les indications suivantes pour les années 1856, 1857 et 1858 :

Années.	PORTS D'EXPÉDITIONS. Quantités de rails exportées par chacun d'eux :				
	Liverpool (district du Staffordshire).	Newport (district du pays de Galles).	Cardiff district du pays de Galles).	Middlesboro' (district du Cleveland).	Autres ports de la côte orientale. Yorkshire, Derbyshire, etc.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
1856	55.110	117.184	93 903	9.648	7.560
1857	63 980	114.719	89.491	29.970	3.014
1858	31.975	99.292	86.978	17.816	13.350

Nous comptons là toutes les expéditions du port de Liverpool, comme provenant du Straffordshire ou des districts voisins, mais le pays de Galles en livre encore une bonne partie.

De ce tableau il résulte que, malgré leurs progrès depuis 1856, les exportations de la côte orientale forment à peine 1/6 à 1/7 de celles de la côte occidentale, composées surtout de rails gallois. Au reste, sur les 550 à 600.000 ton. de rails que fabrique le Royaume-Uni, le pays de Galles en donne environ 450 à 500.000. Sur les 8 à 900.000 tonnes de fonte que produit ce groupe, on estime, en effet, que 75 à 80 p. 100 sont appliqués à la fabrication des rails. Enfin,

le tableau précédent fait voir encore que près de la moitié de la production galloise est destinée à l'exportation.

Le pays de Galles est donc le marché régulateur des rails comme le Staffordshire est celui des fers marchands et l'Écosse celui des fontes de moulage. Après le pays de Galles, c'est le Cleveland qui fabrique le plus de rails : c'est de ces deux districts que nous nous occuperons spécialement dans ce qui va suivre.

CHAPITRE PREMIER.

PAYS DE GALLES.

---

§ 1. *Matières premières et salaires.*

Prix des fontes à rails. — Les prix des diverses matières premières de la fabrication des rails sont généralement les mêmes que ceux pour fers marchands. Les fontes seules font exception : leurs prix comme leurs qualités sont généralement inférieurs à ceux des fontes pour barres ; les prix de 2 liv. 5 sh. à 2 liv. 15 sh. sont, pour rails, plus fréquents que ceux de 3 liv. et au-dessus. Rappelons que ce sont là d'ailleurs des prix de revient, sans intérêts de capitaux ni bénéfices, car, par des raisons déjà dites, nous continuons, pour le pays de Galles, à rapporter les prix de revient tels qu'ils sont dressés dans la comptabilité des usines.

Comparaison de l'époque actuelle avec celle étudiée par M. Truran. — Le seul terme de comparaison un peu ancien que nous ayons pu nous procurer sur les prix de revient des rails est celui rapporté par M. Truran pour 1843 (forge de *Merthyr-Tydwil : Dowlais*).

La discussion de ces renseignements et leur comparaison avec ceux que nous avons recueillis pour les années dernières offrent d'autant plus d'intérêt que les chiffres de M. Truran

ont été cités plusieurs fois, dans les diverses dépositions de l'enquête relative au traité de commerce, comme preuve de l'extrême modicité du revient des fers et surtout des rails gallois. Seulement, on a paru ignorer la valeur exacte d'une réserve fort importante inscrite par cet auteur en tête de ses prix de revient; il avertit ses lecteurs qu'à cette époque (1843) des circonstances commerciales des plus défavorables avaient *extraordinairement déprimé le taux des salaires, en même temps que les prix de vente des fers.*

Avant donc de mettre en parallèle les prix de revient des produits définitifs de 1843 et 1860, voyons un peu ce que la baisse des salaires, signalée par M. Truran, a pu produire sur le coût des matières premières, de la fonte notamment. Et d'abord quelle a été cette baisse?

Salaires en 1843 et en 1860. — En 1843, les fers étant au prix le plus bas qui se soit jamais vu, à un prix qui ne s'est plus rencontré depuis qu'en 1851-52 (1) : à 4 liv. 10 sh. au lieu de 6 liv. à 6 liv. 11 sh. en 1859-60, le même rapport se retrouverait sans doute entre les prix des rails aux deux époques : soit donc une réduction de 25 à 30 p. 100 de 1843, vis-à-vis de 1859-60. Or nous avons vu au chapitre des fontes d'Écosse que, pour une réduction du prix des fontes de 52 sh. à 40, soit de 23 à 24 p. 100 de l'une à l'autre de ces deux années, le taux des salaires baissait de 25 p. 100. Si nous admettons les mêmes proportions dans le pays de Galles, les salaires auraient donc été en 1843 de 25 à 30 p. 100 inférieurs à ceux de 1859-60. On sait, d'après cela, déjà que le prix des houilles, des minerais, etc., c'est-à-dire de la fonte elle-même, devaient baisser à peu près dans le même rapport (2). Si l'on tient

(1) Voyez le tableau graphique du cours des fers, troisième section de la troisième partie.

(2) Voyez les prix des minerais et de la houille rapportés pour la même époque, au chapitre de la fabrication de la fonte en Galles (deuxième partie).

compte enfin des accroissements des redevances et des autres causes de renchérissement dont il a été question précédemment, on s'explique que la fonte pût revenir à 1 liv 16 sh. ou 1 liv. 17 sh. en 1843, au lieu de 2 liv. 10 sh. à 2 liv. 15 sh. que nous trouvons aujourd'hui.

C'est sous ces réserves importantes qu'il faut comparer nos renseignements avec ceux de M. Truran (1).

§ 2. *Prix de revient.*

Nous rapporterons quatre exemples A, B, C, D de prix de revient : le premier A est celui même de M. Truran pour 1843; B et C sont pris dans une même forge et sont relatifs, B à 1860 et C à 1855. Ces trois premiers revients

---

(1) Bien que relevés dans des usines différentes et autres que celle dont parle M. Truran, nos chiffres sont néanmoins comparables entre eux et avec ceux de cet auteur; car les conditions générales du roulement des grandes forges galloises se ressemblent beaucoup.

L'établissement cité par M. Truran extrayait mensuellement :

Houille	36.089	tonnes.
Minerai cru	15.728	—
Castine	8.023	—

Il produisait pendant le même temps :

Fonte	5.546	tonnes.
Fin métal	5.436	—
Puddled bars	5.876	—
Rails et gros fer	5.150	—

Les deux usines auxquelles nous empruntons nos chiffres extrayaient :

Houille : la première, 35 à	38.000	tonnes.
— : la seconde	32.907	—

Elles fabriquaient :

6.200 tonnes de fonte	5.879	tonnes.
1.500 tonnes de fin métal	1.211	—
5.400 tonnes de fer puddlé	5.015	—
4.500 tonnes de rails	3.967	—

Remarquons dès maintenant que la suppression partielle du mazéage a été, pour les maîtres de forges, le principal moyen de racheter l'excédant du prix des fontes de 1859-60 par rapport à 1843.

se rapportent à une fabrication de rails *du commerce* proprement dits; les forges où ils ont été relevés travaillant plus spécialement pour l'exportation et en marques ordinaires : les prix des fontes qu'on y emploie suffisent à le montrer. Le quatrième exemple, au contraire, est celui d'une usine qui, tout en fabricant une certaine proportion de rails ordinaires, travaille aussi sur commandes spéciales, en qualités un peu plus soignées. Nous transcrivons ici une moyenne de ses prix de revient pour 1859-60, n'ayant pu savoir à quelles quantités de diverses sortes de rails correspond cette moyenne.

Prix de revient du fer puddlé.

	A	B	C	D
	liv.sh. d.	liv. sh. d.	liv.sh.d.	liv.sh.d.
Fonte brute à. .	1.16. 3,6/10	à 2.10. »	2.18.»	2.19.8, 38/100
Fonte mazée à. .	2. 4. 1,1/10	à 3. 1. » 6/10	3. 9.»	3.15.7
Fonte brute, 0^t,10	=0. 3. 7	0^t,880=2. 4. »	2. 3.7, 2/10	0^t,738=2. 4.0, 99/100
Fin métal, riblons, 0^t,97 . .	=2. 2. 2,4/10	0^t,250=0.15. 3,6/10	1. 0.9	0^t,362=1. 6.8, 12/100
Minerai de sole.	. . . .	. . . .	. . . .	0^t,02 =0. 0.1, 7/100
Houille (gros et menu), 0^t,91. .	=0. 2. 1,8/10	0^t,95 = 0. 4. 0,9/10	0. 4.2, 2/10	1^t,05 =0. 5.6, 83/100
Main-d'œuvre. .	=0. 6.10,7/10	=0. 8. 5,5/10	0. 9.6, 84/100	=0. 9.7, 61/100
Matières diverses et frais généraux.	=0. 4. 0,5/100	moins certains frais comptés au finissage=0. 1. 9,2/10	0. 2.1, 16/100	=0. 4.8, 75/100
A déduire : scories de forge et vieux moulages.	Déjà déduit dans le compte ci-dessus.	0. 1. 5,6/10	0. 1.0. 4/10	Déjà déduit dans le compte ci-dessus.
Totaux définitifs ar 2.400 liv. .	2.18.10,4/10	3.12. 1,1/10	3.19.2,0	4.10.9, 87/100

Prix de revient des rails finis.

	A	B	C	D
	liv. sh. d.	liv. sh. d.	liv.sh.d.	liv. sh. d.
Fer puddlé. . . .	1^t,123=3. 5. 5, 4/10	4. 5. 7, 8/10	4.17.2,4/10	3. 0. 10, 6/100
Fer ballé.	Non compté.	»	»	3. 14. 3, 9/100
Houille.	1^t,22 =0. 2. 8, 8/10	0. 4. 4, 5/10	0. 4.8,4/10	0. 5. 6, 6/100
Main-d'œuvre. .	0. 5. 1, 3/10	0.13. 1, 8/10	0.13.4,0	0. 8. 5, 93/100
Moulages et fers.	. . . .	0. 1. 7, 7/10	0. 2.5,0	0. 0. 6, 40/100
Argiles, briques, etc.	. . . .	0. 0. 7, 2/10	0. 0.2,5/10	0. 0 3, 0
Fournitures de magasin. . . .	0. 2. 1, 7/10	0. 1. 1, 7/10	0. 1.2,0	0 0. 6, 35/100
Forgerons, maçons, etc. . . .	. . . .	0. 6. 0, 5/10	0. 7.8,4/10	0. 2. 10, 24/100
Frais de bureaux et direction. .	0. 0. 9, 3/10			
A défalquer : Bouts de rails, scories, etc.	0. 3. 0.0	scories seulement : 0. 0. 3, 0	scories seulement : 0. 0.4,5/10	0^t,11 de bouts de rails et scories : 0. 10. 6, 0
Totaux par 2.400 liv..	3.13. 2, 5/10	5.12. 4, 2/10	6. 6.4,2/10	7. 2. 9, 13/100
Transport de l'usine à Cardiff ou à Newport.	0. 5. 0, 0	0. 3. 0	0. 4.4,8/10	0. 3. 0, 0
Totaux définitifs par 2.400 liv. *Id.* par 1.016 kil.	=3.18. 2, 5/10 =3.13. 6, 0	5.15. 4, 2/10 5. 7. 11	6.10.9,0 6. 1.7,0	7. 5. 9, 13/100 6. 15. 6, 60/100
Soit, en francs et par 1.000 kil. prêts à l'embarquement. .	91^f,24	134^f,00	150^f,92	168^f,36

***La situation actuelle des forges galloises plus critique que celle de* 1843.** — Ainsi, malgré la réduction simultanée des proportions de fin métal au puddlage et de fer ballé au finissage, les rails (B) de qualité au plus égale à celle de 1843, reviennent aujourd'hui à 2 liv. environ plus chers qu'alors. Nous allons voir que cet accroissement de prix de revient n'est point compensé par la différence des prix de vente aux deux époques : la position actuelle des maîtres de forges est donc plus mauvaise qu'en 1843, année considérée comme une époque de langueur excessive. La posi-

tion des fabricants gallois est d'autant plus pénible aujourd'hui, qu'ils trouvent chez les ouvriers plus de résistance aux abaissements de salaires. A cause de la rareté de la population, ici, plus encore que dans le Staffordshire et en Écosse, le développement excessif de la production tend à détruire la proportionnalité qui existait en baisse comme en hausse entre le taux des salaires et les prix de vente.

§ 3. *Débouchés; prix de vente; bénéfices des forges galloises.*

Des trois spécialités aujourd'hui les plus importantes de l'industrie sidérurgique : *la fabrication des fontes de moulage, celle des fers marchands, la production des rails*, les deux premières étant à peu près interdites au pays de Galles, ce district s'est exclusivement attaché à la troisième; la majeure partie de ses développements, depuis vingt-cinq à trente ans, se rapporte à cet objet.

Manquant de minerais riches et peu coûteux, le pays de Galles ne pouvait produire, aussi économiquement que l'Écosse, les fontes de première et de deuxième fusion. Les rails que des débouchés croissants, une fabrication rapide et sur une grande échelle, assimilaient jusqu'à un certain point à la fonte, fournissaient par contre à ce district un moyen d'utiliser largement des ressources minérales importantes rassemblées en un petit nombre de mains. Enfin, dans une contrée où, nous l'avons vu déjà, le personnel ouvrier fait défaut, un produit dont la fabrication réclame une main-d'œuvre plus réduite et moins parfaite, devait convenir mieux que les fers marchands comme spécialité de travail.

Quant aux débouchés, le pays de Galles était dans des conditions géographiques à très-peu près comparables à celles de l'Écosse. Ausi l'exportation des rails y a-t-elle pris rapidement une grande importance : après les chemins de

fer anglais sont venus ceux de l'étranger. Dans le développement de la fabrication que ces demandes ont provoqué, nous constaterions, comme nous l'avons fait pour les fontes de moulage, des instants d'arrêt, des époques d'avilissement des prix ; mais, jusque dans ces derniers temps, le marché des rails avait conservé une certaine fermeté que peut-être il n'offrira plus à l'avenir.

Sans parler encore de la concurrence que des districts nouveaux, comme ceux du Cleveland et du Durham, font aujourd'hui déjà au pays de Galles, bornons-nous à mentionner la modification du marché en lui-même.

Quel que soit l'entretien des lignes aujourd'hui construites chez les peuples les plus avancés des deux mondes, il paraît certain qu'il n'absorbera pas les énormes quantités de rails qu'a réclamées leur construction. La plus grande part de cet entretien échappera d'ailleurs aux forges anglaises : la conversion des vieux rails en neufs se peut très-souvent faire sur les lieux de consommation aussi bien qu'en Angleterre. Déjà même le maître de forges gallois a dû chercher des débouchés dans les pays les plus retardés de l'Europe (Russie, Espagne, Turquie, etc.), mais surtout dans les colonies (Amérique, Indes, Australie, etc.). Le marché des rails ressemble ainsi de plus en plus à celui des fers marchands.

Instabilité croissante du marché. — Depuis 1856 ou 1857, ces conditions tendent à se généraliser ; la vente est devenue moins sûre, moins ferme. En plus d'un cas, les prix courants sont restés plus nominaux que réels : les fabricants ont consenti à des règlements en papier, actions ou obligations, presque toujours *non classées*, des compagnies de chemins de fer.

La puissante organisation de la plupart des entreprises galloises leur a permis de résister jusqu'ici aux dangers de cette allure. Les rails, se prêtant moins au travail en stock, moins encore au commerce de consignation, l'instabilité

croissante du marché extérieur n'a point produit en Galles les effets regrettables que nous avons observés dans le Staffordshire. Nous avons pu constater, par le nombre des établissements en chômage lors de notre voyage, que les maîtres de forges du premier district préfèrent l'arrêt absolu au roulement chanceux des périodes de crises.

Influence de l'instabilité du marché sur la qualité des produits. — Il est cependant un fait commun aux rails et aux fers marchands, plus marqué même pour les premiers que pour les seconds : les circonstances dont il vient d'être question, en réduisant les bénéfices des fabricants, ont provoqué une dépréciation rapide dans la qualité des produits.

Sur la plupart des listes de prix on voit aujourd'hui les rails cotés à un taux inférieur à celui des barres marchandes. C'est même un fait assez constant depuis trois ou quatre ans, et qui certainement ne s'explique ni par l'indépendance qui existe naturellement entre les marchés des *rails du commerce et des fers marchands*, ni par les progrès de la fabrication. A ce dernier égard, il est certain qu'à égalité de qualité dans les matières premières, des fers profilés, sujets à des rebuts et des déchets élevés, doivent revenir plus cher que de simples barres. Aussi comprend-on bien qu'au début de cette industrie les prix des rails fussent majorés, par rapport à ceux des fers marchands, de 5 à 10 sh. et même 15 à 20 sh. par tonne. Mais par contre, on s'expliquerait mal que cet écart fût annulé ou même renversé, si l'on n'admettait pas que cela tient à peu près exclusivement à l'emploi de matières premières inférieures.

Sauf ces réserves, si l'on veut estimer les bénéfices de la fabrication des rails, on peut admettre les prix de vente figurés sur notre tableau graphique du cours des fers marchands (troisième partie). Il faut seulement les réduire de 10 sh. environ pour tenir compte de la différence de qua-

lité des barres de Galles avec celles du Staffordshire, auxquelles se rapporte principalement ce tableau.

Bénéfices des maîtres de forges gallois à diverses époques. — Considérant seulement les années pour lesquelles nous avons pu nous procurer les prix de revient, voici ce qu'on peut conclure de la comparaison des prix de revient et de vente.

La forge qui vendait, en 1843, 4 liv. à 4 liv. 10 sh. des rails qui lui revenaient à 3 liv. 13 sh., n'obtenait pas un produit supérieur à celui que sa voisine réalisait en 1855, en livrant à 7 liv. ou 7 liv. 10 sh. des rails coûtant 6 liv. ou 6 liv. 10 sh. Dans les deux cas, le produit oscillait entre 10 et 20 sh. par tonne de 1.015 kil. Mais à ce compte, si l'on considère que la production totale de 1843 était probablement inférieure à celle de 1855, on conclura que la modicité du prix de revient dans le premier cas n'est point un signe de prospérité. Au contraire, grâce à une certaine constance que les variations du taux des salaires permettaient de maintenir dans l'écart des prix de revient et de vente, au coût le plus élevé correspondait généralement un travail à plein roulement; avec un produit net, en définitive assez réduit, de 10 à 20 sh. par tonne, le produit total d'une de ces vastes forges galloises devenait tout de suite un chiffre considérable.

Sans travailler pour stock en produits finis, ceux de ces établissements, qui disposaient de capitaux suffisants, profitaient des baisses de salaires pour préparer des fontes et des fers bruts, à élaborer définitivement pour rails aux moments de reprise commerciale, et augmentaient notablement par là la somme de leurs bénéfices.

Depuis 1857-58, cette façon de procéder est devenue de plus en plus difficile; les prix de vente sont successivement descendus de 7 à 6 liv., et même à 5 liv. 10 sh. ou 5 liv. 12 sh. en juin 1860, sans que les maîtres de forge aient pu obtenir, comme par le passé, des réductions propor-

tionnelles sur le taux des salaires. Le prix de revient des *rails ordinaires* étant de 5 liv. 7 sh. 11 d., c'est dire que le produit net est à peu près nul depuis la fin de 1859.

Bénéfices sur les rails de qualité supérieure. — Nous avons spécialement considéré jusqu'ici *les rails ordinaires du commerce*, mais les résultats, depuis un an ou deux, ne sont pas meilleurs avec les rails de qualité plus soignée, à fortes proportions de ballages. On vendait, en effet, en 1859-60, 6 liv. 15 sh. à 7 liv. les rails que nous avons vu fabriquer au coût de 6 liv. 15 sh. 6 d. 60/100.

CHAPITRE II.

CLEVELAND ET DURHAM.

Prix des matières premières : fontes. — Nous rappellerons d'abord que les fontes grises, truitées ou blanches appliquées à la fabrication des rails se vendaient, en juin 1860, 49 à 50 sh. les premières, 46 à 48 sh. les dernières, la tonne de 1.015 kil. Les n°s 1, 2, 3 sont rarement employés bruts : on les maze, ce qui en porte le prix à 65 sh. la tonne.

Houilles. — La houille tout-venant ou noisette, de puddlage ou de réchauffage, coûte, rendue aux forges, 4 à 5 sh. dans le Cleveland ; et 3 sh. 6 d. à 3 sh. 9 d. dans le Durham.

Les prix de revient détaillés qui suivent se rapportent aux marques ordinaires de ces dictricts ; ils comprennent sous le titre : *Frais généraux*, les intérêts de capitaux (loyers d'usines et fonds de roulement).

Prix de revient du fer puddlé.

	liv.	sh.	d.
Fonte, 1^t,10 à 46 sh. 4 d.	2.	10.	11
Houille (y compris le moteur), 1^t,20 à 4 sh.	0.	4.	10
Main-d'œuvre.	0.	12.	0
Frais généraux et divers.	0.	11.	0
Total par 1.015 kil.	3.	18.	9

Prix de revient des slabs.

		liv.	sh.	d.
Fonte, 1t,20	brute : 0t,90 à 50 sh.	2.	5.	0
	mazée : 0t,30 à 65 sh.	0.	19.	6
Houille, 33 quintaux = 1t,65 à 4 sh.		0.	6.	5
Main-d'œuvre		0.	18.	8
Frais généraux et divers		0.	14.	0
Total par 1.015 kil.		5.	1.	9

Prix de revient des rails.

		liv.	sh.	d.
Fer brut, défalcation faite des bouts de rails qui rentrent dans la fabrication.	Couvertes (slabs), 0t,59 à 5 liv. 1 sh. 9 d.	2.	0.	2
	Puddled bars, 0t,75 à 3 liv. 18 sh. 9 d.	2.	19.	0
Main-d'œuvre		0.	11.	10
Frais généraux		0.	10.	0
Revient, en forge, des 1.015 kil.		6.	4.	7

C'est autour de 6 liv. qu'oscillent les prix de revient des marques ordinaires : nous avons effectivement trouvé, dans une autre forge, celui de 5 liv. 19 sh. 6 d.

Pour les rails un peu plus soignés, les rails russes, par exemple, le coût s'élevait, au contraire, à 6 liv. 8 sh. les 1.015 kil.

Enfin, les rails Cleveland ou Durham, qualités supérieures, coûtent de fabrication 6 liv. 15 sh. à 7 liv.

Entre les deux sous-districts, il n'y a guère de différence : les fontes y coûtent à peu près le même prix : la houille seule est un peu moins chère dans le Durham ; celui-ci aurait donc peut-être un très-léger avantage sur le Cleveland.

Débouchés. — Prix de vente. — Bénéfices.

Situation des usines du Cleveland et du Durham par rapport à la mer. — Des deux sous-districts dont nous nous occupons, le Cleveland, c'est-à-dire celui des deux qui possède le moindre nombre de forges, est le mieux situé quant à l'exportation. Mais si les forges du Durham sont un peu

plus éloignées des côtes, la distance est néanmoins toujours fort courte : elles peuvent expédier aux ports de Sunderland ou de Tynemouth pour 4 sh. la tonne, au lieu de 3 à 4 sh. que payent les forges galloises pour atteindre Newport et Cardiff. Il en résulte que, pour l'exportation, les forges à rails du Cleveland et du Durham sont au moins aussi bien placées que celles du pays de Galles. Mais si l'on compare les prix de revient, en tenant compte, comme de raison, des différences de qualités que nous avons signalées, on voit que l'avantage reste aux premières. Ces districs nouveaux du Cleveland et du Durham sont donc appelés à faire une rude concurrence au pays de Galles, aussi bien dans l'exportation que dans le commerce intérieur.

Concurrence entre le district du nord-est et le pays de Galles. — La baisse persistante du prix des rails depuis quelque temps tient pour beaucoup à cette concurrence. Il faut bien observer cependant que les prix de vente consentis par les forges du Cleveland et du Durham, depuis un an ou deux, diffèrent peu des prix de revient. Ainsi, les rails, coûtant de 5 liv. 19 sh. à 6 liv. 4 sh. 7 d., se sont vendus couramment en 1859-60; 6 liv. 5 sh. la tonne de 1.015 kil., prise en forge et sans escompte. Les rails supérieurs, revenant à 6 liv. 15 sh. ou 7 liv. se vendaient 7 liv. à 7 liv. 10 sh. dans les mêmes temps et conditions.

Les prix de revient contiennent, il est vrai, les intérêts de capitaux; mais à de pareils cours, le bénéfice, proprement dit, ne s'élève pas à 5 p. 100 du prix de vente.

CHAPITRE III.

Nous terminerons cette première division des fers spéciaux (fers profilés) par un tableau de prix courants, pour 1859-60, analogue à celui que nous avons donné pour les barres marchandes à la fin de la troisième partie.

1° RAILS.

A. Rails du commerce.				B. Rails sur commandes.
Marques de Galles :		Marques Cleveland :		Marques supérieures de Galles, Cleveland, Yorkshire, Staffordshire, etc.
communes.	ordinaires.	communes.	ordinaires.	
liv.sh. liv.sh. d. 5 10 à 5 12 6	liv. 6 à 7	liv. sh. 6 5	liv. liv. sh. 7 à 7 10	liv. liv. 7 à 10 à 11

2° FERS A T ET CORNIÈRES (Staffordshire) de dimensions ordinaires, c'est-à-dire 8 pouces=0m,20 de largeur totale des deux côtés ensemble.

Fers en barres de 1re classe de qualité correspondante.	Fers d'angle.	Fers à T.
liv. sh. liv. 7 10 à 8	liv. sh. liv. 8 10 à 9	liv. 9 à 10

3° FERS A T ET CORNIÈRES DE DIMENSIONS EXTRA.

En dessus de la 1re classe.

	Angles. liv.sh.	Fers à T. liv.
De 8 à 10 pouces de largeur totale	9 10 à 10	10 à 11
De 10 à 12 pouces de largeur totale	10 1/2 à 11	11 à 12

Coupés sur longueur : 10 sh. d'écart en plus, par tonne. . . . .
Sur longueur de 20 à 30 pieds : écart de 1 liv. . . . .

En dessous de la 1re classe.

Angles et T.	Écarts de prix avec la 1re classe. sh.
1 pouce 1/2 à 1 pouce de largeur sur 1/8 pouce d'épaisseur. . . . . 7/8 pouce de largeur sur plus de 1/8 d'épaisseur.	10
7/8 pouce sur 1/8 et 3/4 sur plus de 1/8.	20
3/4 pouce sur 1/8.	30

4° RAILS ET BANDAGES ET FERS A T DE QUALITÉS EXCEPTIONNELLES : Lowmoor.

		liv.	fr.
Bandages bruts non cintrés	au-dessous de 3 quintaux 1/2 (175 kil.)	=21	(530)
	du poids de 3 quintaux à 4 quintaux.	=25	»
	id. de 7 quintaux (350 kil.) . .	=37	(943)

Le cintrage et la soudure se payent 4 liv. par tonne.
Fers d'angles et à T. . . . . =22
Essieux de locomotives estampés bruts : au-dessous de 3 quintaux. . =21
Id. de 5 quintaux et au-dessus. =33

NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR M. ESTAUNIÉ, INGÉNIEUR DES MINES.

Par M. LESEURE, ingénieur des mines.

Estaunié (Édouard) est né à Toulouse, le 26 juin 1830. Après de brillantes études littéraires et scientifiques, il entra à l'École polytechnique en 1850. Classé le vingt-deuxième sur la liste d'admission, il gagna seize rangs dans les deux années d'études, et arriva le sixième au classement définitif de 1852.

Il choisit la carrière des mines.

Il suivit avec distinction les cours de l'École des mines. De ses voyages dans la Belgique et dans le Hartz, il rapporta des mémoires qui lui valurent un témoignage officiel de haute satisfaction, et les besoins du service ayant fait abréger son temps d'élève-ingénieur, il fut nommé ingénieur ordinaire le 4 juillet 1855 et chargé en cette qualité du service du sous-arrondissement minéralogique de Châlon-sur-Saône.

Le contrôle administratif, avec ses limites incertaines et variables, est délicat à exercer; peut-être l'était-il plus à Châlon que partout ailleurs.

D'un abord modeste et ouvert, modéré, conciliant, Estaunié avait toutes les qualités nécessaires. Comment les préventions auraient-elles pu naître ou se maintenir vis-à-vis d'un ingénieur d'une droiture si parfaite et si visiblement animé dans tous ses actes par le seul sentiment du devoir? Il sut discerner avec un tact parfait ce qu'on pouvait céder et quelle était la juste limite des droits essentiels de la surveillance administrative. Cette conduite mesurée et digne lui gagna la confiance et la sympathie de tout le monde; l'Administration supérieure reconnut ses bons services, et elle lui adressa, en 1858, une lettre de félicitations sur l'heureuse activité qu'il déployait dans l'accomplissement de sa mission.

Préoccupé surtout du soin de sauvegarder l'intérêt public et la sécurité des ouvriers dans l'exploitation des mines, il prit une large part à la solution d'une question importante, l'emploi de la méthode des remblais, soit en rédigeant sur cette question un rapport complet et décisif, soit en profitant de toutes les occasions opportunes pour agir par voie de persuaison.

Les fonctions administratives qu'il remplissait avec tant de zèle et de dévouement lui laissaient des loisirs qui furent consacrés à

diverses études techniques. Nous rappellerons les plus intéressantes.

Le résultat de ses travaux au laboratoire de chimie fut en partie publié en 1860 dans le tome XVII des *Annales des mines*. Il comprend cent dix-huit analyses d'échantillons de houilles. Il ne s'agit que de l'analyse immédiate, parce que le but était seulement de classer les diverses variétés de combustibles au point de vue de leurs propriétés industrielles. La densité et la puissance calorifique ont été également mesurées et indiquées. La méthode suivie pour cette dernière détermination diffère un peu de celle de M. Berthier.

L'introduction de cette notice contient une description sommaire, la plus exacte qui existe, des bassins houillers de Saône-et-Loire. Estaunié admet la continuité primitive des dépôts, sans se prononcer sur l'assimilation des couches d'un dépôt à l'autre, assimilation très-difficile à établir. En revanche, il a distingué les accidents contemporains qui ont pu modifier la qualité de la houille, et les accidents postérieurs qui ont produit seulement des failles.

Les conclusions déduites des analyses offrent un grand intérêt pour l'industrie et pour la géologie. Indépendamment de la classification rationnelle des houilles, elles établissent que la nature du charbon dépend avant tout des circonstances locales qui en ont accompagné la production. M. Grüner avait constaté un fait semblable dans le bassin de la Loire. On voit également qu'il y a une relation étroite entre les variations de qualité, et les variations de composition des assises sous-jacentes. Accessoirement, signalons ce fait curieux que, dans l'altération de certains charbons à l'air ou dans la mine, la proportion des matières volatiles augmente.

En somme, cette étude est un complément nouveau et indispensable de la description géologique du département de Saône-et-Loire par M. Manès, et forme un monument durable qui conservera le souvenir de son auteur.

Concurremment avec des analyses de houille, Estaunié poursuivait l'essai hydrotimétrique des eaux du territoire de la ville de Châlon. C'était l'un des points de départ nécessaires du projet dont on s'occupe actuellement pour fournir et distribuer à la ville des eaux abondantes et salubres.

C'est également pendant son séjour à Châlon qu'il présenta à l'Académie de Lyon deux mémoires relatifs aux appareils à vapeur. Dans le premier, il établit des formules très-simples, à l'aide desquelles on calcule les dimensions de la chaudière pour une machine d'une espèce et d'une force déterminées. Dans le second, il donne une expression nouvelle du travail de la vapeur dans les machines à vapeur, expression théoriquement plus exacte et plus simple dans l'application que l'ancienne formule.

Estaunié avait à peine trente ans en quittant le poste de Châlon, et tous ces travaux étaient publiés ou terminés. Il avait dignement

rempli sa tâche, et laissait à son successeur une place honorée. Ses nombreux amis le voyaient à regret s'éloigner. Tous faisaient des vœux pour son bonheur ; tous présageaient pour lui une brillante destinée.

Son union avec une personne qu'il aimait sembla à ce moment un premier accomplissement de ces vœux et de ces présages, et tout souriait à notre camarade en prenant possession de ce service de Saint-Étienne dont il était chargé sur sa demande.

Estaunié était digne de son bonheur, non-seulement par son activité au travail et sa belle intelligence, mais aussi par ses qualités morales. Quel amour et quel dévouement pour les siens ! Quelle amitié sûre et tendre ! Quelle élévation de sentiments !

Il avait conservé intactes les traditions pieuses de sa famille, et rien n'avait atteint la pureté de cœur et la fraîcheur de sentiments de ses jeunes années. La sérénité de sa croyance et sa générosité native éclataient dans la délicate tolérance qu'il pratiquait autour de lui, au point d'avoir des amis de croyances bien diverses et de les aimer également.

Par tous les traits de sa vie, on reconnaît une nature d'élite, et il en a laissé la vive et durable impression à tous ceux qui ont eu le bonheur de le connaître dans l'intimité.

Dans le court séjour qu'il a fait à Saint-Étienne, il a déployé les mêmes talents que dans son précédent service ; mais c'est à peine si on eut le temps de l'apprécier.

Le 15 novembre, Estaunié alla visiter les travaux souterrains du puits Saint-Joseph de la Béraudière, après avoir déjà fait de nombreuses et pénibles visites les jours précédents. Il eut à descendre et à remonter une fendue étroite, tortueuse, humide, de 160 à 170 mètres de développement. Dans l'après-midi, il éprouva une grande lassitude qui n'avait d'abord rien d'inquiétant, mais qui, sous l'influence de l'épidémie alors régnante, dégénéra au bout de cinq jours en une fièvre muqueuse. Il succomba à cette maladie le 4 janvier 1862, âgé de trente et un ans. Ce fut dans toute la ville une pénible surprise quand se répandit cette triste nouvelle.

Le lendemain, à la cérémonie funèbre assistaient les autorités supérieures, les principaux fonctionnaires, tous les directeurs et ingénieurs des industries houillères et métallurgiques. Cette unanimité exprimait bien l'estime et la sympathie déjà acquises à notre regretté camarade, le sentiment profond d'un si grand malheur, et le deuil universel des cœurs.

La fin d'Estaunié a été le digne couronnement d'une vie consacrée au travail et à l'accomplissement du devoir. A ce titre, sa mémoire doit être conservée dans nos annales après les noms plus illustres qui y sont inscrits. Il a cherché à suivre leurs exemples pendant le peu de jours qu'il a vécu.

NOTICE

SUR

LES USINES A PLOMB DE PONTESFORD, PRÈS SHREWSBURY (SHROPSHIRE).

Traitement de la galène au four gallois.

Par M. L. MOISSENET, ingénieur des mines.

But de cette notice. — La métallurgie du plomb constitue une des branches les plus importantes de l'industrie minérale de l'Angleterre. Parmi les méthodes appliquées à la fonte des minerais de plomb, celle dite *galloise*, qui est suivie dans les grandes usines des environs d'Holywell (Flintshire) occupe le premier rang. En dehors de ces vastes établissements, le four gallois est en usage dans diverses localités, entre autres à Pontesford, près Shrewsbury.

Ayant eu l'occasion de visiter plusieurs usines du Flintshire, et récemment (*) celles beaucoup plus petites de Pontesford, il m'a paru utile de donner une description succincte de ces dernières. Par leur consistance restreinte comme par le prix du combustible, elles se rapprochent davantage des conditions dans lesquelles on peut se trouver placé sur divers points de la France.

Toutefois, je dois signaler dès à présent une des lacunes que l'on rencontrera dans cette notice.

Les compagnies sont propriétaires à la fois des mines et des usines, et n'achètent que rarement de petits lots de minerais provenant de travaux de recherches; elles négligent de faire l'essai des minerais et des produits divers, crasses. scories, fumées. Il leur est donc impossible de se rendre compte de la perte en métal, dont l'estimation est si

(*) En septembre 1860.

nécessaire pour apprécier la valeur de la méthode. Mais grâce à l'identité des minerais traités, elles se trouvent pratiquement guidées par l'observation du rendement.

On sait qu'en dehors du travail de l'ouvrier, ce dernier dépend essentiellement du bon état du four à réverbère; aussi, à Pontesford comme dans le Flintshire, on apporte le plus grand soin à la construction et l'entretien de cet appareil.

Je me propose ici, en me bornant à reproduire les renseignements que j'ai recueillis sur place, de décrire avec quelques détails le four gallois et le travail des fondeurs. Je terminerai par l'évaluation des frais spéciaux de l'opération principale.

Situation des usines.—Trois compagnies se partagent actuellement le district plombifère des environs de Shrewsbury : celle de Snailbeach, qui est la plus considérable, celle de Stiperstones, enfin celle de White-grit.

La dernière exploite les mines les plus éloignées de Shrewsbury; les deux premières, les seules dont je m'occupe, ont leurs usines contiguës, situées au pied de la montagne de Pontesford, à l'entrée du village de Pontesbury, c'est-à-dire à 9 miles au sud-ouest du chef-lieu du Shropshire (*fig.* 1, Pl. X).

L'usine de Snailbeach est approvisionnée par la mine du même nom, ouverte à 5 miles au delà de Pontesbury; la compagnie voisine possède plusieurs exploitations de moindre importance réunies sous la désignation générale de Stiperstones-Mines et situées à une distance de 8 à 9 miles. On transporte par voitures les minerais aux fonderies, puis le plomb en saumons à Shrewsbury; dans cette ville, l'usine de MM. Burr frères, pour la fabrication du minium, du plomb laminé, des tuyaux et du plomb de chasse, absorbe la totalité des produits de Stiperstones et le quart de ceux de Snailbeach.

Le plomb de Pontesford ne contient en effet que 2 onces d'argent par tonne (soit 6 grammes aux 100 kilogrammes)

et sa grande pureté le rend tout à fait propre au laminage et à la préparation du minium.

Comme chargement de retour, les voitures prennent la houille et le coke que les chemins de fer amènent à Shrewsbury des bassins qui l'avoisinent.

Gisement du plomb dans l'ouest-Shropshire. — La petite carte (*fig.* 1, Pl. X) est une copie abrégée et réduite au tiers des feuilles du *Geological Survey*. La légende en marge des feuilles donne dans leur ordre de superposition :

H Alluvions.
G New red Sandstone.
F Terrain houiller.
E Schistes de Wenlock (silurien supérieur).
D Caradoc ou silurien moyen.
C Formation de Llandeilo, Bala et Snowdon (silurien inférieur).
A Grès rouges et verts, conglomérats et couches schisteuses (roches cambriennes).

A ce terrain, il faut joindre des roches d'origine éruptive, les unes contemporaines et intercalées dans les schistes siluriens inférieurs, les autres postérieures, amphiboliques et trapéennes; la montagne de Pontesford appartient à ces dernières (X).

Cette région a été illustrée par les travaux de sir R. Murchison, qui l'a décrite dans le *Silurian System* et dans *Siluria* (1854). Il y donne une coupe faite à partir du massif du Longmynd dans une direction E.-S.-E.—O.-N.-O. et passant par les Stiperstones et le district plombifère du Shropshire.

En partant de l'est, on rencontre dans le Longmynd des schistes foncés à clivage imparfait et des schistes gris avec des grès grossiers, rougeâtres, ferrugineux et des conglomérats. Ces roches, jusqu'ici sans fossiles connus, forment, sous la dénomination de Bottom Rocks, la base des terrains siluriens inférieurs (*); c'est à elles seules que le Survey a

(*) Formation 1 de sir R. Murchison; sa puissance atteint 26.000 pieds.

conservé le nom de Cambriennes. Elles se dirigent du S.-S.-O. au N.-N.-E.; verticales à l'est, les couches plongent vers l'ouest sous les assises suivantes :

Les schistes à fucoïdes et à graptolite, incomplétement développés, qui occupent la place des dalles à Lingules du pays de Galles; puis, les quartzites des Stiperstones qui passent graduellement aux grès avec intercalation de schistes verts et talqueux, lorsqu'on s'avance au N.-N.-E. jusqu'aux carrières de Nils-Hill, près Pontesbury.

Cette bande remarquable des Stiperstones avec les schistes inférieurs (formation 2^{a}) divise en quelque sorte la grauwacke sans fossiles du Longmynd et ses filons cuivreux, des schistes fossilifères et des grès du district plombifère de Shelve et Corndon, qui constituent l'équivalent de la formation de Llandeilo (2. épaisseur 14.000'). On rencontre dans cette dernière, d'abord des schistes foncés à graptolites, puis des dalles de couleur foncée dures, quelquefois légèrement micacées, souvent calcaires avec veines blanches de chaux carbonatée; les fossiles principaux y sont des trilobites; enfin des schistes argileux (*shales*), des schistes et des grès.

Mine de Snailbeach. — La mine de Snailbeach est exploitée depuis fort longtemps, et après avoir partagé la réputation de celle de Bog, aujourd'hui abandonnée, elle fournit encore près des deux tiers du plomb extrait dans le comté. Son importance m'engage à donner un peu plus de détails qu'il n'eût été strictement nécessaire de le faire pour décrire la nature des minerais fondus à Pontesford. L'exploitation à Snailbeach ne comprend qu'un seul grand filon; on a cependant reconnu l'existence d'une autre veine à 40 yards au sud (South-Lode); le filon principal n'est dérangé par aucun croiseur.

La roche encaissante appartient à l'étage de Llandeilo, c'est un schiste dur, quartzeux, légèrement micacé et d'un

gris verdâtre; à l'ouest on rencontre des alternances de schiste argileux plus tendre (shale).

La direction des couches est N.-E. — S.-O. magnétique, c'est-à-dire en prenant 23° pour la déclinaison, qu'elles sont orientées à 22° à l'est du nord vrai, suivant le *système du Longmynd ;* elles plongent à l'ouest-nord-ouest en formant avec l'horizon un angle d'environ 60°.

Le filon affleure le long d'un coteau exposé au nord, et sous lequel il s'enfonce; son inclinaison est assez régulière, on l'évalue à 1 de base sur 3 de hauteur.

La direction prise sur l'ensemble des travaux est 22° au nord de l'ouest magnétique, soit 1° au nord de l'est vrai, c'est-à-dire sensiblement est-ouest; mais le filon présente de grandes inflexions, car on reconnaît que, sur des parcours étendus, on a suivi les directions ci-dessous :

22° N. de l'O. mag. (direction moyenne).
25° *id.*
32° *id.*
Est-ouest mag.
Un peu au sud de l'ouest mag.

Les parties riches affectaient principalement les orientations E.-O. et 25 N. de l'O. mag.

Quant à la situation des colonnes métallifères dans le plan du filon, elle sera mieux comprise si nous donnons d'abord une idée de la disposition des travaux.

Un ancien puits, foncé verticalement au sud de l'affleurement, rencontre le filon à une profondeur de 80 yards; les niveaux sont comptés à partir de son ouverture. La galerie d'écoulement est située à 110 yards et débouche à un demi-mile du côté de l'ouest; une roue hydraulique installée en ce point et rattachée aux pompes par des tirants sur toute la longueur de la galerie, a longtemps suffi à l'épuisement. Aujourd'hui il a lieu par machine à vapeur et par le puits principal. Celui-ci, commencé 38 yards plus

haut sur le coteau, au sud de l'ancien, coupe le filon au niveau de 282 yards et atteint celui de 372 yards; sa profondeur actuelle est donc de (372 + 38) = 410 yards = 375 mètres.

Les galeries d'allongement sont généralement espacées de 30 yards, et reliées au puits par des galeries à travers bancs; au niveau de 372 yards, le puits est situé à 40 yards du mur du filon. Dans le sens horizontal les travaux se sont étendus à environ 800 yards à l'est du puits et 400 yards à l'ouest.

L'intersection des couches de schiste par le filon donne, selon la direction de ce dernier, des lignes inclinées de 45° à 55° sur l'horizontale. C'est précisément ainsi que les colonnes riches (*shoots of ore*) plongent du côté de l'ouest. On en reconnaît aisément six principales; la plus large, située à l'est du puits, a eu jusqu'à 150 yards d'étendue dans une même galerie de niveau.

A l'ouest, les alternances de schiste micacé avec le shale plus tendre, correspondent à un appauvrissement du filon qui n'a aucune valeur dans le shale; vers l'est, au contraire, c'est-à-dire dans les assises inférieures du terrain, on a rencontré un schiste quartzeux, veiné de blanc, et extrêmement dur; après avoir percé 300 à 350 mètres dans cette roche, on est arrivé au-dessous d'anciens travaux à un schiste meilleur, verdâtre et avec veines blanches, où le filon produit de bonne galène à grain fin.

C'est de ce côté que paraît être l'avenir de la mine, et l'on y fonce un puits destiné à devenir un nouveau centre d'exploitation.

La puissance du filon a atteint 10' dans les parties riches; dans le shale il est très-mince.

Matières du filon. — On y rencontre les minéraux suivants :

Galène, sous deux aspects; la majeure partie est clivable et à facettes; en divers points, et surtout aujourd'hui à

l'est, la galène est à grain fin (*Steel Lead*). Les deux variétés sont pauvres en argent.

Blende, aussi sous deux apparences; l'une est esquilleuse et de couleur jaunâtre, l'autre est brune et compacte. La blende se trouve en mouches et parfois en gros fragments, mais elle n'est pas intimement mêlée à la galène.

Pyrite de fer; mouches peu abondantes.

Chaux carbonatée, bien cristallisée, très-clivable; elle constitue de beaucoup la gangue principale et enveloppe les minéraux métalliques précités.

Sulfate de baryte cristallisé; seulement sur quelques points de la mine (*).

Quartz peu abondant; se trouve surtout aux endroits où le filon est dans un terrain dur.

Enfin des fragments et parties adhérentes du schiste encaissant (**).

Données économiques. — Voici quelques données qui permettent à tout ingénieur d'évaluer à très-peu près les dépenses faites tant dans la mine que sur l'atelier; en les rapprochant du chiffre de la production, on trouverait le prix de revient approché de la tonne de schlich, et l'on verrait quel est le bénéfice important réalisé par la mine de Snailbeach.

Les machines à vapeur sont au nombre de trois; celle d'épuisement, dans le système du Cornwall, a 60″= 1.524 de diamètre et 10′= 3.048 de course; le diamètre des

(*) En 1858, Snailbeach a vendu 30 tonnes de sulfate de baryte prêt pour le broyage au prix de 1 liv.= 25 fr. par tonne, et en 1859, 49 tonnes de blende.

(**) On a trouvé à Snailbeach du bitume en petits nids dans les matières du filon. Tout près de Pontesbury, un filon de galène et blende, avec gangue de quartz opaque, a été exploré, il y a une cinquantaine d'années, dans lequel la même substance abonde. Aujourd'hui encore les fragments abandonnés sur la halde donnent, lorsqu'on les casse, des gouttelettes de bitume noir et visqueux.

pompes est 9'' 1/2 = 0^m,241 et leur course 9' = 2^m,743 ; c'est assez dire que l'eau est peu abondante ; la seconde machine est employée à l'extraction ; une dernière commande les cylindres broyeurs. La houille coûte 18 sh. 6 d. = 23^f,15 la tonne ; sur ce prix on compte 3 sh. 6 d. = 4^f,40 pour le transport de Pontesford à la mine.

Le personnel souterrain est d'environ 350 ouvriers ; la préparation occupe 50 individus seulement.

Pour les six années comprises de 1853 à 1859, la production moyenne par mois a été de 218 tonnes de schlich ; elle s'élevait dans l'été 1860 à 250 à 300 tonnes.

On admettait comme frais de main-d'œuvre sur l'atelier 6 sh. 6 d. = 8^f,10 par tonne ; l'introduction récente de la méthode du Yorkshire a sensiblement diminué les frais et la perte en métal. Antérieurement on dépensait 16 sh. = 20 francs par tonne de schlich, tout en laissant dans le stérile d'énormes quantités de minerai. Cependant avec le procédé actuel la perte en plomb est encore très-considérable, et il y aurait certainement avantage à pousser le travail plus loin qu'on ne le fait, et à revenir *judicieusement* à un chiffre moyen d'environ 20 francs.

Voici sommairement le caractère et le résultat de cette préparation.

Le filon, même dans les parties riches, donne très-peu de minerai massif, la nécessité d'obtenir un schlich presque pur ne permet pas de compter sur l'efficacité du cassage et triage à la main ; cette opération n'écarte que le stérile, tout le reste doit passer aux cylindres broyeurs.

En revanche la galène n'est point finement disséminée, la gangue est tendre et légère. On peut broyer gros et obtenir par criblage la majeure portion du plomb (*).

(*) Lorsqu'on a formé un lot de grenailles un peu grosses, c'est-à-dire d'un diamètre supérieur à 0^m,01, on le passe aux cylindres, car l'usine n'admet que le minerai fin.

Les sables et boues sont enrichis au Round Buddle puis au Square Buddle. C'est dans cette partie du traitement qu'ont lieu les plus grandes pertes ; au criblage, les écumes rejetées tiennent aussi une notable quantité de galène.

La teneur à l'essai s'élèverait probablement pour les schlichs à 81 p. 100; pour les schlams, qui proviennent du lavage des sables fins et des boues et qui sont en très-faible proportion, la teneur se maintient de 12 à 15 unités p. 100 au-dessous de la précédente; elle ne serait donc que de 66 à 69.

Quant aux matières étrangères qui restent dans le minerai prêt à fondre, elles se composent évidemment des diverses gangues énumérées ci-dessus; mais il est probable que dans le schlich la chaux carbonatée domine à l'état de particules adhérentes aux grains de galène; tandis que la blende se trouve surtout dans les schlams; enfin le quartz et le schiste n'entrent dans les deux classes de produits qu'en faibles traces.

Lors de la pesée du minerai sur l'atelier, on ajoute 200 lbs. à la tonne de 20 quintaux; le poids de la *tonne de minerai* sur le carreau de la mine est donc ici de $(20 \times 112 + 200) = 2.440$ lbs. $= 1.121^{k},631$.

L'usage général en Angleterre est d'acheter les minerais de plomb à la tonne de 21 cwts. ($= 2.352$ lbs. $= 1.066^{k},431$), la matière étant supposée sèche.

Les 88 lbs. d'excédant correspondent au léger déchet occasionné par le transport et surtout à l'eau hygrométrique; celle-ci constitue dans les conditions ordinaires environ 3,5 p. 100 du poids du minerai; teneur représentée ici par 85,4 lbs.

La valeur de la tonne de minerai de plomb non argentifère, mais riche comme l'est celui de Snailbeach, me paraît pouvoir être fixée hors des moments de crise commerciale à 13 liv. 15 sh. $= 343,75$, soit $322^{f},34$ les 1000 kil.

Minerais de Stiperstones. — Stiperstones reçoit ses minerais de diverses exploitations, et peut traiter avec la galène un peu de plomb carbonaté ; le mélange facilite les réactions et favorise le travail ; leur teneur est un peu moins élevée que celle de Snailbeach ; par contre ils sont moins blendeux (*).

Combustible. — Les usines de Pontesford sont construites sur le bord du terrain houillier ; pendant longtemps on a employé le combustible extrait dans leur voisinage immédiat ; mais les travaux faits sur les affleurements des couches ne les ont suivis dans leur plongement au nord que sur une petite distance.

Le gisement comprend trois couches appelées : *half yard*, *yard* et *thin coal*. En ce moment la compagnie de Snailbeach fonce, au nord de l'usine, un puits qui doit atteindre la houille à 130 yards.

A Short-hill Colliery, sur la route de Shrewsbury à Pontesford, on exploite aujourd'hui le half yard coal ; le charbon est amené au jour en gros blocs ; il est très-pyriteux, et le prix de 15 sh. = 18f,75 par tonne auquel on le maintient ne laisse aux usines aucun intérêt à s'en approvisionner.

En effet elles se procurent à Shrewsbury au prix de 10 sh. = 12f,50 une houille à longue flamme, légèrement pyriteuse et de bonne qualité. Le transport en est fait par les solides voitures à quatre chevaux qui conduisent le plomb à la ville ; chacune d'elles charge 3 tonnes de charbon en blocs au prix de 5 sh. = 6f,25 par tonne pour la distance de 9 miles. Rendue à l'usine, la houille revient donc à 15 sh. = 18f,75.

Le coke de Ruabon coûte à Shrewsbury 20 sh. = 25 fr., soit à Pontesford 25 sh. = 31f,25 la tonne.

(*) La compagnie de Stiperstones exploite un gisement de carbonate de baryte ; le minéral extrait est d'une grande pureté ; beaucoup de fragments affectent l'état fibreux translucide. On le vend sur place 3 liv. 10 sh. = 87f,50 la tonne, soit avec le fret (de 1 liv. = 25 fr.), 112f,50 les 1.015 kil. rendus à Londres.

Disposition et consistance des usines. — La méthode galloise s'applique à des minerais riches en plomb et réussit particulièrement bien lorsque la gangue est calcaire. Elle comprend deux opérations principales : la première est un traitement par réaction au grand four à réverbère à six portes ; on doit la regarder comme d'autant mieux conduite que l'on y obtiendra, avec un minerai donné, un rendement en plomb plus élevé. On retire du four des crasses riches, qui constituent la majeure partie du lit de fusion de la seconde opération. Celle-ci se fait au four à manche et produit, outre le plomb, des scories souvent rejetées ; cependant celles des scories qui contiennent du plomb en grenailles subissent une préparation mécanique, et un peu de scories riches repassent au four à manche.

Les fumées des deux opérations sont en partie retenues par des appareils de condensation ; les matières boueuses que l'on en retire sont, après dessiccation, agglomérées au réverbère et réduites au four à manche.

Les usines de Stiperstones et de Snailbeach sont établies sur un terrain à peu près plat à une petite distance de la montagne de Pontesford, et presqu'au bord de la route ; elles sont séparées par un chemin perpendiculaire à celle-ci et dans le sens duquel les halles sont construites.

Le croquis, *fig.* 2, Pl. X, à l'échelle de $\frac{1}{1500} = 0^{m},00066$ pour 1 mètre suffira, avec la légende suivante, pour donner une idée de leur disposition :

Stiperstones.

AAA Trois fours à réverbère.
BB Fours à manche et soufflerie.
C Conduite souterraine pour les gaz de tous les fours.
D Magasin.
E Forge.
F Bureau.
G Cases et aires pavées pour les minerais.
H Houille.

J Dépôt des crasses riches de la première opération.
K Scories.
L Briques.
M Argile réfractaire.

Snailbeach.

AAAA$_1$ Quatre fours à réverbère, dont un (A$_1$) à cinq portes.
B Four castillan à trois tuyères.
CC Conduite pour les gaz des réverbères.
DD Conduite pour les gaz du four castillan.
E Machine à vapeur pour la soufflerie et les pompes de l'appareil de condensation.
F Forge.
G Magasin.
H Bureau.
I Balance pour les voitures.
K Case à minerai.
LLLL Houille.
M Coke.
N Crasses riches.
O Scories; préparation mécanique.
P Dépôt des fumées.
Q Briques.
R Argile réfractaire.
S Réservoir d'eau alimentant les appareils de condensation.

L'usine de Stiperstones comprend trois réverbères à six portes; un seul était en feu en 1860; elle a en outre les petits fours à manche *slag hearths* du Flintshire. Snailbeach possède quatre fours à réverbère, dont un de nouveau modèle à cinq portes donnant de bons résultats. On y a remplacé les slag-hearths par un four dit *castillan*, et récemment importé du Yorkshire. En dehors de la cour de chaque usine s'élève une grande cheminée qui dessert tous les fours. Les canaux et chambres de condensation de Snailbeach sont largement installés; on n'y a point eu recours aux machines aspirantes (*), appareil puissant et efficace mais dispendieux;

(*) Telles qu'il en existe à Deebank-Bagillt près Holywell.

cependant l'ensemble des dispositions est satisfaisant. Je reviendrai plus loin sur ce sujet.

Description des appareils : Four à réverbère de Stiperstones. — Lors de ma visite, on réparait, à Stiperstones, un four qui avait fait très-bon usage ; c'est sur cet appareil que j'ai pris les éléments des dessins (Pl. XI, et *fig.* 5, Pl. X) ; quant aux détails de construction et aux dispositions intérieures non visibles, ils m'ont été indiqués par le chef maçon.

La *fig.* 1, Pl. XI, est un plan coupe passant par le niveau des portes. La sole présente la forme connue des fours gallois ; c'est un trapèze à angles coupés, pour le raccordement des parois aux côtés des portes extrêmes.

Un bassin intérieur, sorte de fossé dont les bords sont presque verticaux, reçoit le plomb à mesure qu'il se produit. La coulée se fait dans un bassin en fonte logé au dehors, dans l'embrasure du milieu. Ce côté du four est appelé face d'avant (*front side*); là se tient le chef fondeur. L'aide sur la face d'arrière (*back side*) fait le service des trois portes et le chargement du foyer. On peut remarquer sur la *fig.* 1 que l'axe de la sole ne passe point par le milieu de la grille ; celle-ci et le pont sont rejetés vers la face d'arrière de façon à éloigner les flammes du bassin intérieur.

Les deux carneaux conduisent les gaz à un rampant incliné par où ils se rendent à la conduite commune aboutissant à la cheminée. La conduite est souterraine ; disposition économique, mais fâcheuse au point de vue du tirage. La petite cheminée située vers le fond du foyer, *fig.* 1, 2 et 4, n'a rien de commun avec les gaz de l'opération proprement dite ; son seul but est d'enlever les fumées et les vapeurs du cendrier.

Dimensions principales. — Voici maintenant les dimensions principales :

				mèt.
Foyer.	Largeur dans le sens de l'axe du four....	2' 6"	=	0,762
	Longueur de la grille.	4' 6"	=	1,371
Pont.	Longueur.	4'	=	1,219
	Épaisseur.	2'	=	0,609
Sole :	du pont à l'axe des deux premières portes.	1' 6"	=	0,457
	de l'axe des premières portes à celui des secondes.	3'	=	0,914
	de l'axe des secondes à celui des troisièmes.	3'	=	0,914
	de l'axe des troisièmes portes au fond...	2' 3"	=	0,686
	Longueur totale de la sole..	9' 9"	=	2,971

Largeurs approximatives comptées entre les bords intérieurs des cadres de deux portes opposées.

Axe des deux premières portes.....	10'	=	3,048
Axe des portes du milieu.	9' 6"	=	2,895
Axe des troisièmes portes.	9'	=	2,743

Si l'on retranche de ces nombres l'épaisseur des piliers de maçonnerie éfractaire lesquels dépassent de 9" les cadres des portes, il reste comme longueurs effectives mesurées sur les mêmes lignes : 2m,591, 2m,438 et 2m,286.

Au fond du four la distance entre les côtés extrêmes des carneaux donne pour largeur de la sole 3'3" = 0m,990.

Les *carneaux* s'ouvrent au niveau de la sole ; ils ont pour largeur : celui d'avant 11" = 0,279, celui d'arrière 12" = 0,305 ; leur hauteur commune est 12" = 0,305 ; dans leur partie verticale ils conservent les mêmes largeurs, mais leur profondeur (sens de l'axe du four) est de 13" = 0m,330, le vide étant séparé, en ce point, de l'intérieur du four par une brique de 6" = 0,152.

Le carneau d'avant est moins large que celui d'arrière pour que le courant gazeux soit porté de ce dernier côté ; c'est dans le même but que le milieu de la grille est reculé à 10" = 0m,254 de l'axe de la sole.

Le dessus de la grille (voy. *fig.* 2) est à 2'8" = 0m,812 à partir du sol.

Le niveau des ouvertures de travail est de 4″ plus élevé, soit à 3′ = 0,914 du sol.

On compte :

De la grille au pont.	16″=0,406
Du pont à la sole.	12″=0,305
De la grille à la voûte au milieu du foyer.	3′ 2″=0,965
Du milieu du pont à la voûte.	1′ 7″=0,482
Hauteur de la voûte au fond du four entre les carneaux.	1′ 6″=0,457

Bassin intérieur (Well) *et bassin de Coulée* (Pot). — La sole est faite en scories (*fig.* 2 et 3) ; on y ménage le bassin intérieur que l'ouvrier entretient ensuite en bon état.

Le trou de coulée, ouvert dans une plaque de fonte, est situé à 8″ = 0^{m},203 au-dessus du sol ; soit à 2′4″ = 0,711 au-dessous du niveau des portes. De la plaque vers le centre du four, le bassin a 3′6″ = 1^{m},066 ; sa largeur au fond est 2′ = 0^{m},609 ; vers la plaque elle se réduit à quelques pouces. Le fond est d'abord établi au niveau du trou de coulée ; il tend à s'abaisser par l'usage. Les parois sont très-peu inclinées.

Le bassin extérieur est une chaudière de fonte de 2′6″ = 0^{m},762 de diamètre intérieur et de 20″ = 0^{m},508 de profondeur ; il fait saillie à 8″ = 0^{m},203 du sol ; on le consolide et le maintient par une garniture de fiches en fer serrées en haut par un cercle de même métal ; le fer a 4″ = 0^{m},101 de largeur et 1/2″ = 0^{m},012 d'épaisseur.

Armatures et portes. Plaques en fonte. — Les armatures et portes sont en fonte et fer.

Trois grandes plaques de fonte doivent d'abord être signalées : l'une d'elles dite *air plate* soutient la paroi du réverbère au-dessous du pont, et permet de laisser entre celle-ci et le mur du foyer un vide de 4″ = 0,101 de largeur pour la circulation de l'air ; elle s'oppose en même temps à la coulée du plomb qui se serait infiltré de ce côté de la sole.

Les dimensions sont : longueur 6′ = 1,829 ; hauteur 20″

=0,508 ; l'épaisseur est de 3″=0,076, elle est portée à 6″=0,152, sur une hauteur égale, commençant à 6″ du bord supérieur ; celui-ci est au niveau de la grille.

La plaque de coulée (*taping plate*) et celle d'arrière (*back plate*) sont appliquées sur les deux longues faces du four ; elles ont toutes deux 5′=1,524 sur 20″=0,508. Celle d'arrière n'a que 1″=0,025 d'épaisseur ; l'autre a 2″=0,051, et sur 6″ vers le haut elle est portée à 3″=0,076.

Dans la *taping plate*, on a ménagé à 4″=0,101 au-dessus du trou de coulée une ouverture de 4″ de largeur sur 9″=0,254 de hauteur ; deux gonds ont été pris à la fonte et soutiennent une petite porte rectangulaire de 8″=0,203 de hauteur. Lorsque cette porte en fonte est fermée, il reste au-dessus d'elle un intervalle pour l'accès de l'air froid sur les matières contenues dans le bassin intérieur.

Une forte barre de fer de 4″ de côté est posée en haut et en avant de la plaque ; nous reviendrons dans un instant sur les pièces qui terminent l'embrasure de coulée.

Portes. — Chacune des six ouvertures est munie d'un cadre en fonte dont la largeur est 10″=0,254, et la hauteur 6″=0,152 ; la section de la fonte présente un quarré de 4″=0,101 de côté.

Ce cadre repose sur la maçonnerie ; à l'intérieur, la sole vient affleurer l'ouverture et les deux côtés verticaux sont recouverts par les piliers réfractaires. Au dehors l'embrasure est entièrement garnie de fer. La porte proprement dite est une plaque de fonte de 13″=0,330 sur 7″=0,178. Son épaisseur est de 1″=0,025 sur les bords, tandis qu'au milieu elle est renforcée en une sorte de poignée dans laquelle on engage la tête d'un outil fait en forme de boulon. La tige de l'outil a 18″=0,457 ; chaque ouvrier en a un semblable pour ôter et mettre les portes ; en place elles ne sont que posées contre le cadre (voir *fig.* 5, Pl. XI).

Embrasures (*fig.* 5, Pl. X). — Au niveau de la grille (2′, 8″) règne sur chacune des faces du reverbère un tirant hori-

zontal pris dans la maçonnerie ; il a 6″ = 0,152 de large et 1/2″ = 0,012 d'épaisseur et forme la base commune des trois embrasures du même côté. Sur lui s'appuie une bande de fer de 8″ = 0,203 sur 1/2″ qui vient affleurer les ouvertures extérieures des cadres en faisant un plan incliné de 3″ de hauteur sur environ 8″ de base.

A 20″ = 0,508 au-dessus du tirant une bande de fer d'égale section constitue le linteau supérieur des trois embrasures. En arrière, s'appuyant sur elle et sur le bord supérieur des cadres, une feuille de 9″ = 0,228 de large et 1/2″ d'épaisseur forme sur toute cette étendue la naissance de la voûte.

Entre l'embrasure du milieu et les deux autres, trois bandes de fer recourbées à leurs extrémités et taillées comme de besoin, maintiennent la maçonnerie non réfractaire. Des bandes semblables, mais seulement une fois recourbées, sont appliquées sur les côtés extrêmes des embrasures et se prolongent d'environ 1′ = 0,30 sur la face du four.

Ce qui précède est commun aux deux côtés du reverbère. Sur la face d'avant (*fig.* 4) on a mis au-dessous des portes dix bandes de fer ; cinq de part et d'autre de l'embrasure de coulée. Elles sont recourbées par un bout qui vient joindre la *taping plate ;* elles ont un peu plus de 4′ = 1,219 sur 1/2″ d'épaisseur. L'arête inférieure de celle du bas est au niveau du trou de coulée.

Sur la face d'arrière (*fig.* 3) à la porte du milieu, deux crampons terminés par des crochets sont calés derrière les armatures verticales, ci-après mentionnées ; sur les crochets, on peut poser une barre de fer rond de 1″ = 0,025 de diamètre et d'environ 3′ 6″ = 1,066 de long. Cette barre est au niveau de l'ouverture et sert à soutenir l'outil pendant le travail.

Armatures. — Le système général d'armatures comprend, outre les pièces qui ont été décrites, des barres de fer placées à peu près verticalement contre les parois du four et

des bandes ou tirants horizontaux dont les uns sont extérieurs, au-dessus de la voûte, et les autres sont engagés dans la maçonnerie. Les barres ont environ 6′ 6″ = 1,981 et 3″ = 0,076 sur 2″ = 0,051 ; elles portent sur leur petit côté. Les tirants ont 6″ = 0,152 sur 1/2″ = 0,012 ; à chaque bout on a fait un œil où passe la barre et par-dessus un coin en fer.

La position de ces diverses pièces est indiquée sur les figures et s'y justifie par les détails précédents ; mais il y a lieu d'expliquer ce qu'ont de particulier les tirants inférieurs voisins des portes du milieu. La profondeur et la forme du bassin intérieur ont exigé qu'au lieu de quatre bandes rectilignes on fit huit tirants recourbés. Chacun d'eux a environ 4′ 6″ = 1,371 de parcours horizontal dans la maçonnerie et son extrémité, retournée à angle droit, est prise de 1′ = 0,305 dans le massif. On a pu ainsi les écarter suffisamment du bassin et de la partie de la sole faite en scories.

Foyer. — La grille se compose de deux groupes de huit barreaux ; trois barres de fer, deux aux extrémités et une au milieu supportent les bouts de ces barreaux ; leur longueur est de 2′ 3″, ce qui donne celle de 4′ 6″ indiquée pour la grille. Sur la face d'arrière il n'y a pas d'autre ouverture que la porte de chargement ; le cadre en fonte, qui en forme l'entrée a intérieurement 1′ = 0,305 de côté ; la porte elle-même est entièrement mobile. Elle consiste (*fig.* 6) en un cadre de fer garni de briques réfractaires et suspendu par un bout de chaîne à une tringle en fer, qui permet de la déplacer latéralement ; lorsqu'on l'abandonne à elle-même, elle vient s'appliquer sur le cadre en fonte. De ce dernier à la grille, l'ouverture s'évase de 1′ à 2′ 6″ ; le mur a 18″ = 0,457 d'épaisseur et se trouve coupé horizontalement au niveau des barreaux (2′ 8″ du sol).

L'air arrive sous la grille du côté de la face d'avant ; la porte de la halle s'ouvre à 8′ 6″ = 2m,59 du foyer.

Le cendrier descend à 1′ = 0,305 au-dessous du sol ; on

y maintient de l'eau, dans laquelle tombent les escarbilles, et dont les vapeurs diminuent l'usure des barreaux. La cheminée d'appel par où s'échappe l'excès des vapeurs est construite immédiatement en avant de la chauffe; sa largeur est aussi 2'6"; sa profondeur à la base est de 2' = 0,61; elle s'élève à 20' = 6,096 du sol et dépasse le toit d'environ 1m,50.

D'après ce qui précède on voit que le chef fondeur peut seul piquer le feu par-dessous la grille; pour le piquage par-dessus une ouverture horizontale de 4" = 0,101 de hauteur est ménagée de son côté; elle est formée par trois fortes barres de 4". L'une d'elles ferme le rectangle de la chauffe; c'est-à-dire empêche tout mouvement des barreaux dans le sens de leur longueur et affleure à leur niveau. Les deux autres posées 4" plus haut supportent en même temps la voûte du foyer du côté de la cheminée.

Carneaux. Registres.—Dans quelques fours la partie horizontale des carneaux est construite sur le sol; et on doit la franchir par des marches lorsqu'on veut passer d'un côté à l'autre de la halle. Mais on préfère la disposition indiquée sur les *fig.* 2, 3 et 4 par laquelle on laisse un passage de 5' 2" = 2' 8" + 2' 6" = 1m,574 de hauteur. A ce niveau on pose deux barres de fer; l'une sur le petit côté du four, l'autre en face dans le mur de la halle; des bandes transversales portent la maçonnerie en briques spéciales, dont il sera parlé plus loin. On compte alors de la sole au-dessous des briques de recouvrement une distance verticale de 3' 7" = 1,092. Les deux carneaux débouchent dans une seule ouverture faite dans le mur et les gaz descendent au canal souterrain par une voûte inclinée de 45° et bâtie en forme de contre-fort. Les registres en tôle (*fig.* 2 et 3) sont suspendus à un système de poulies par des chaînes terminées par des contre-poids à la hauteur (4' 6") de la main de l'ouvrier. Au bout d'un certain temps de service, le bord inférieur des registres se trouve échancré par l'action corrosive des gaz;

en sorte que le registre étant baissé, il n'y a point fermeture complète du rampant.

Trémie. — La position de la trémie est déterminée par les deux coordonnées suivantes : de l'angle du four voisin de la porte du foyer on mesure 2′9″=0,838 le long de la face d'arrière ; puis 3′6″=1,066 à partir de ce point sur une perpendiculaire à l'axe de la sole. On a ainsi le centre de l'ouverture carrée de 6″=0,152 de côté ménagée dans la voûte ; sa projection sur la sole correspond à des distances de 1′9″=0,533 du pont et de 2′6″=0,76 de la première porte d'arrière. Le minerai tombe en un point assez élevé de la sole, pour qu'il soit facile aux ouvriers de l'étendre devant le pont et sur tout l'espace en arrière du bassin intérieur.

Quant à la trémie elle-même c'est une caisse en forme de pyramide tronquée ; sa grande base est un carré de 3′ 6″=1,066 de côté ; elle a environ 3′=0,91 de hauteur. Pour la supporter, on a élevé les murs latéraux de 14″ au-dessus de l'arête supérieure du four ; soit à une hauteur totale de 6′10″=2,083 du sol (*fig.* 2 et 4). Sur ces piles d'une brique d'épaisseur sont posées en travers de la voûte deux poutrelles de 6″ sur 4″, enfin sur celles-ci un cadre en bois de 3″=0,076 d'équarrissage.

De ce cadre partent quatre tringles en fer soutenant par des goupilles un cadre en tôle avec rainures dans lesquelles on peut faire glisser un tiroir de même métal. Le même cadre en bois reçoit la trémie dont la petite base arrive au niveau du tiroir sans peser sur lui. On voit que le tout est mobile et peut se démonter en quelques minutes, lorsqu'il y a lieu.

Les ouvriers ont à monter la charge par une échelle ; ils la portent sur l'épaule dans une caisse contenant 1 cwt. = 50k,8. C'est pendant le commencement d'une opération que la trémie est remplie pour celle qui va suivre.

Construction du réverbère. Dimensions extérieures. — Les fondations ont à Pontesford une profondeur de 3′ = 0,91 ; elles sont en briques sur le pourtour du massif ; au centre, on tasse du sable. Au niveau du sol les dimensions extérieures sont :

Trapèze du réverbère.	Grande base.	13′	= 3,962
	Petite base.	10′	= 3,048
	Hauteur.	13′	= 3,962
Rectangle comprenant le foyer (Pl. X, *fig.* 3).	*af*.	1′ 9″	= 0,533
	ed.	2′ 6″	= 0,762
	ce qui laisse *ef*.	8′ 9″	= 2,667
	eg.	4′ 9″	= 1,447

La largeur *eg* se subdivise en quatre parties : épaisseur de la maçonnerie appuyée au mur de la halle 14″ ; largeur du foyer 2′ 6″ ; mur au-dessous du pont 9″ ; enfin vide de 4″ entre ce mur et le réverbère.

Les dimensions verticales ont été données précédemment.

Sole en scories. — A mesure que la maçonnerie s'élève, on met en place les bandes de fer, et quand on atteint le niveau de la grille et des deux tirants latéraux (2′8″), on détermine, au moyen de deux cordeaux, le creux intérieur, suivant lequel les briques s'arrêtent pour laisser la place aux scories.

On marque dans le four au niveau du sol les points α et β (*fig.* 3, Pl. X) à 3′6″ de la face des portes d'avant, vis-à-vis celle du milieu, et écartés de 2′. Des angles *a* et *b* (niveau de 2′8″) on tend les cordes $a\alpha$ et $b\beta$, qui, avec les sommets *c* et *d* (2′8″) déterminent trois plans inclinés, savoir :

$ab\alpha\beta$	(*fig.* 3, Pl. XI, coupe trans.)	faisant avec l'horizon	24°
$ad\alpha$	(*fig.* 2, coupe longitudinale)	côté du pont.	30°
$bc\beta$		côté des carneaux. . .	23°

Sur le côté de l'avant la maçonnerie réfractaire est verticale.

Le bassin extérieur est installé sur de l'argile tassée dans

une enveloppe en maçonnerie, et consolidé par des fiches en fer; malgré ces précautions, on trouve souvent lors des réparations du plomb qui s'est infiltré sous la chaudière et l'a soulevée peu à peu.

Lorsque la voûte est bâtie, on fait la sole en scories; c'est un travail long et difficile. On y emploie des scories pauvres et du sable quartzeux; les matières agglomérées par un fort coup de feu sont successivement battues au ringard et à la spadelle, et l'on arrive à former le bassin et à donner à la sole une inclinaison générale de son côté. Le bord du bassin est à environ 10″ = 0,254 au-dessous des ouvertures de travail.

La sole ainsi établie est peu perméable au plomb et dure très-longtemps, car les ouvriers ont soin d'en entretenir la surface en bon état. D'après ces données, l'épaisseur des scories en quelques points est de :

4″ = 0,101 le long des portes d'arrière.
12″ = 0,305 le long du pont.
14″ = 0,355 vers les carneaux.
8″ = 0,203 au fond } du bassin intérieur.
2′ 6″ = 0,762 à l'avant } du bassin intérieur.

Voûte. — On est guidé dans la construction de la voûte par trois lignes principales, savoir : les deux horizontales qui passent par les bords supérieurs des cadres des portes, et un cordeau tendu dans le plan de l'axe de la sole, à 3′2″ = 0,965 au dessus du milieu de la grille d'une part, et de l'autre à 20″ = 0,507 mesurés au-dessus du même niveau sur une verticale le long de la face extérieure, petite base du trapèze. L'intérieur du four est rempli de scories fines que l'on tasse suivant la forme de l'intrados, et sur lesquelles on pose debout le rang de briques réfractaires qui constitue la voûte. Celle-ci achevée, les scories sont enlevées à la pelle par les ouvertures.

Parties réfractaires. — Les parties réfractaires sont indiquées sur les *fig.* 1, 2 et 3; presque partout elles ont une

brique d'épaisseur; entre elles et les briques ordinaires on laisse un petit intervalle que l'on remplit de briques concassées.

Voici quelques renseignements sur les matériaux employés.

Briques réfractaires. — On compte environ trois cents briques à la tonne de 1015 kilog.; elles coûtent 40 sh. le mille, à quoi il faut ajouter 18 sh. pour le transport; soit pour les mille briques à pied d'œuvre 58 sh. = 72f,50. Leurs dimensions sont :

9″ = 0,228
4″ = 0,101
2″1/2 = 0,063

Briques ordinaires: trois cent soixante-treize à la tonne; prix du mille, 55 fr., les dimensions sont les mêmes sauf la longueur qui est de 8″1/2 = 0,216.

Briques réfractaires spéciales. Quelques briques spéciales de gros échantillons sont employées aux points suivants. Au-dessus de la porte de chargement du foyer; au fond de la chauffe à la naissance de la voûte; pour le pont; pour la paroi verticale des carneaux au bout du four. Ces briques ont 2′ = 0,609, 1′ = 0,305 et 6″ = 0,152. Quant à la partie horizontale des carneaux, elle est construite avec des briques de 2′ sur 1′ et 4″ d'épaisseur seulement.

L'*argile réfractaire* dont on se sert, tant pour la construction que pour les réparations, et pour boucher le trou de coulée, revient à 20 sh. = 25 fr. la tonne.

La chaux, dont on ne consomme qu'une petite quantité à Pontesford, coûte environ 20 fr. les 1000 kilog.

Réparations. — Le four à réverbère, malgré un travail fort actif, dure très-longtemps, ce qui tient tout d'abord aux soins apportés à sa construction, puis à ce que la température n'y est pas fort élevée. La partie la plus exposée aux flammes c'est-à-dire la voûte exige seule des réparations périodiques.

La portion qui s'étend du foyer au delà du pont doit être renouvelée tous les deux ans; le reste de la voûte dure cinq ans. La voûte entière emploie deux mille briques, d'où l'on déduit une consommation d'environ huit cents briques par an pour cet objet.

Outils. — Les *fig.* 6 à 19 représentent les outils des fondeurs; en voici la liste et les dimensions principales :

Outils pour le travail sur la sole.

Fig. 6. Spadelle (*padle*) :

La partie plate a { longueur.. 12" = 0,305 ; largeur... 6" = 0,152 ; épaisseur.. 1/2" = 0,012 }

Le manche est sur 6' (= 1,828) de long en fer quarré de 1"1/8 = 0,028 de côté; l'extrémité est en fer rond sur 3' = 0,914. Longueur totale de l'outil : 10' = 3,048.

Fig. 7. Rable (*rake*); largeur, 8" = 0,203; hauteur, 5" = 0,127; manche en fer rond de 1" = 0,025.

Fig. 8. Spadelle usée servant à piquer et soulever les crasses agglomérées, à la fin de l'opération; largeur au manche, 4" = 0,101.

Fig. 9. Marteau pour battre le manche des outils, avant de les retirer du four, et détacher ainsi les matières adhérentes.

Outils pour le foyer.

Fig. 10. Pelle pour le chargement de la houille : hauteur, 13" = 0,329; largeur, 10" = 0,254; longueur du manche, 2'8" = 0,813.

Fig. 11. Masse pour casser les blocs de houille.

Fig. 12. Barre pour piquer le feu.

Fig. 13. Grand rable pour nettoyer le cendrier; tôle de 8" = 0,203 de hauteur sur 20" = 0,508 de largeur. Douille en fer et manche en bois; longueur totale, 11'6" = 3m,505.

Outils pour la coulée.

Fig. 14. Barre pour percer le trou de coulée et pour y tamponner l'argile; c'est un ancien manche de spadelle.

Fig. 15. Écumoire carrée pour enlever les premières crasses sur le bassin extérieur; largeur, 7" = 0,178; hauteur, 10" = 0,254; longueur totale, 4'10" = 1m,473.

Fig. 16. Écumoire ronde pour les dernières crasses.

Fig. 17. Poche (*ladle*) pour le moulage des saumons; diamètre, 10″= 0,254; profondeur, 4″= 0,101; manche de 3′8″= 1,117; elle contient 20 à 21 kil. de plomb fondu.

Fig. 18. Lingotière en fonte (*mould*); les lingots en sont enlevés encore chauds au moyen de deux petites barres de fer et sans que la lingotière soit déplacée.

Fig. 19. Bâton à crochets pour transporter les saumons encore chauds de la halle dans la cour de l'usine.

Disposition d'une halle.—Le bâtiment de l'usine contient autant de halles distinctes qu'il y a de fours à réverbère; cette division est très-convenable parce que chaque four est conduit par une brigade d'ouvriers associés. Le croquis *fig.* 3 donne la disposition d'une halle de Stiperstones; la légende suivante indique l'emplacement des objets à l'usage des fondeurs.

A	Réverbère.	GG	Bancs.
B	Côté de l'avant.	H	Lingotières.
C	Côté de l'arrière.	II	Conduite des gaz.
D	Houille.	K	Cases et aire pavée pour les minerais.
EE	Chaux.		
F	Argile réfractaire.	LL	Eau pour le cendrier.

De chaque côté du four il y a un espace de 14′; ce qui donne pour longueur totale de la halle $2 \times 14' + 13' = 41' =$ 12^{m},50. La largeur entre les longs côtés du bâtiment est de 20′= 9^{m},14.

Les murs s'élèvent à 13′= 3,962; la charpente n'offre rien de particulier.

Réverbère à cinq portes de Snailbeach. — En 1858 on a reconstruit à Snailbeach un des quatre fours et on y a introduit une modification assez importante. Elle consiste à supprimer sur la face d'avant la porte située du côté des carneaux et à repousser d'environ 0^{m},40 du même côté les bassins intérieur et extérieur et l'ancienne porte du milieu. Le but que l'on s'est proposé a été d'augmenter la surface propre à l'étendage du minerai. Dans le four à six portes le minerai occupe une sorte de croissant dont la branche étroite

est devant le pont, et la branche la plus large est entre la porte d'arrière et le bassin intérieur. L'espace situé devant la dernière porte d'avant (ici supprimée) n'est occupé que lors du ressuage des matières écumées sur le bassin de coulée.

Le four à cinq portes présente les avantages suivants : le minerai étendu sur une plus grande surface, forme une couche de moindre épaisseur, ce qui facilite le travail des ouvriers pendant le grillage ; la partie de la sole ainsi acquise est bien exposée aux flammes du foyer ; en même temps, le bassin intérieur est soustrait d'autant à leur action. Quant au ressuage des écumes, la première porte d'avant suffit à ce travail.

A Snailbeach, la largeur du carneau d'arrière est 12″ comme à Stiperstones, mais celui d'avant n'a que 10″= 0,254 au lieu de 11″.

Four dit castillan à Snailbeach. — Je ne décrirai pas ici les petits fours à manche, *Slag hearths*, de la méthode galloise et je me bornerai à donner les principales dimensions du four *castillan* de Snailbeach.

C'est une cuve cylindrique de 3′=0,91 de diamètre intérieur, construite en maçonnerie réfractaire d'une brique d'épaisseur et maintenue par des cercles et des bandes verticales en fer. A 1 mètre du sol sont trois tuyères espacées de 90°, et que l'on peut appeler latérales et d'arrière ; de celle-ci au fond du four on compte 9″=0,228 seulement ; la brasque est tassée en pente douce jusqu'à la poitrine. Du fond du four à l'ouverture de chargement, placée au-dessus de la tuyère d'arrière, il y a 2′6″=0,762. Sur le devant et au-dessous de la poitrine on a juxtaposé à la maçonnerie un bassin de réception cylindrique en fonte et garni de brasque. Il a environ $0^m,70$ de hauteur ; sa base est formée de deux droites écartées de 2′6″ et raccordées par un demi-cercle ; la brasque y est tassée de façon que pendant le travail il y ait écoulement et séparation continue du plomb et des sco-

ries. Sur la gauche le plomb, arrivé au fond du bassin, tombe par un trou de coulée, ouvert à 0,25 du sol, dans un vase en fonte, où il est repris pour le moulage; sur la droite un déversoir conduit les scories dans de l'eau, où elles se solidifient en grenailles.

Le four vu de face a l'aspect d'une colonne cylindrique sur 7' = 2,13 à partir du sol, puis légèrement conique sur 8' = 2,44.

Un rampant recourbé ramène les gaz et fumées du niveau de 15' à la conduite souterraine.

La soufflerie consiste en un ventilateur faisant seize cents tours par minute, et mu par une machine à vapeur de huit chevaux.

Condensation des fumées à Snailbeach. — Le croquis linéaire (*fig.* 4) à l'échelle de 1/3150, représente la disposition générale des appareils de condensation des fumées à Snailbeach. La conduite des réverbères *c*, *c'* a 180 yards = 164^{m},60 et aboutit à la cheminée *b* d'environ 30 mètres de hauteur. Celle du four castillan *d*, *d'*, *d''*, *d'''* a 500 yards = 457 mètres; elle fait trois coudes à angle droit avant de revenir à la cheminée.

Sur ce long parcours, les gaz ont à traverser deux chambres de condensation *a*, *a'*, de construction identique.

Ces chambres sont en briques, en forme de guérite avec pignons et toit à deux égouts; leur hauteur, à partir du fond de la conduite, est de 18' = 5,48; soit de 12' = 3,65 au-dessus du sol; leur section intérieure a 7' = 2,13 en travers du courant, et 8' = 2,44 dans le sens du mouvement des gaz; mais une cloison s'élevant du fond de la conduite, à 16' environ de hauteur, force les gaz à monter puis à redescendre dans un espace de 7' sur un peu moins de 4'. La machine à vapeur refoule de l'eau du réservoir *s* dans les tuyaux *s*, *s'*, *s''*, dont une branche vient aboutir à chaque chambre au milieu d'un pignon. Au-dessus de la cloison en briques est établie une trémie double, oscillante, qui déverse

l'eau alternativement dans deux gouttières. De celles-ci, l'eau tombe en pluie dans les deux parties de la chambre. En outre on a placé au niveau du sol des travons qui supportent une couche de branchages de 2' d'épaisseur, sur lesquels l'eau se divise, et que doivent traverser les fumées à la montée puis à la descente. Au delà de chaque chambre est une petite fosse *e*, *e'* où les matières condensées s'accumulent jusqu'à ce qu'on les fasse écouler au jour dans le bassin *f*, où elles se dessèchent à demi et d'où on les retire pour les porter dans la cour de l'usine. La conduite a 4' de large sur 6' de hauteur et affleure partout le sol, qui malheureusement offre une légère pente dans le sens de *d'*, *d''*. Avec le four à tuyères le tirage est parfaitement suffisant; il n'en serait pas de même pour les réverbères; après avoir essayé de les mettre en communication avec le canal de 500 yards on a dû y renoncer et revenir à la conduite directe *c*, *c'*.

Travail au réverbère. — Je décrirai d'abord le travail au réverbère à Stiperstones, puis à Snailbeach, et j'ajouterai alors quelques indications relatives au traitement des crasses et des fumées dans cette dernière usine, de manière à embrasser l'ensemble de la méthode.

On peut, au réverbère gallois, avec des minerais et des combustibles identiques faire varier la marche de l'opération d'après ses trois éléments : poids de la charge, durée de l'élaboration, et quantité de main-d'œuvre imposée aux ouvriers. Ce dernier réagit fortement sur les deux autres et il y a avantage à accroître le gain des fondeurs en exigeant d'eux un effort correspondant. C'est ce que l'on a compris à Snailbeach, mieux qu'à Stiperstones; et de là, plus que de la nature du minerai, naissent les différences que nous aurons à signaler entre les deux usines.

Le personnel d'un réverbère est composé de quatre ouvriers associés, dont deux présents à la fois; les postes ordinaires sont de 12 heures. Le minerai et le combustible étant

déposés à la portée des fondeurs (voir les croquis, *fig.* 2 et 3), ils n'ont point de manœuvres à leur service et doivent faire la pesée et le chargement.

Je désignerai par abréviation les six portes par des numéros d'ordre, savoir : en allant du pont aux carneaux ;

Côté d'avant.	N° 1,	N° 2,	N° 3;
Côté d'arrière.	N° 4,	N° 5,	N° 6.

c'est-à-dire que les numéros 1 et 4 sont les plus voisins du pont, 2 et 5 sont les portes du milieu, etc.....

Travail à Stiperstones. — Je prends comme exemple à Stiperstones l'opération commençant le lundi à midi ; c'est la seconde après le chômage du dimanche.

Midi. — On fait tomber sur la sole la charge consistant en 20 quintaux de galène et 1 quintal de plomb carbonaté bien mêlés, total = 1066 kilo. Sur la sole il ne reste qu'un peu de crasses que l'on n'a pas pu détacher avec la spadelle usée ; dans le bassin intérieur (*well*) est le plomb métallique, sur lequel un peu de chaux a été répandue.

Le four est au rouge, et à mesure que le minerai est étendu au rable par les portes 1, 4 et 5 il décrépite et dégage de la vapeur d'eau. Les registres, d'abord baissés sont relevés en partie et progressivement ; on pousse le feu en chargeant de la houille de temps en temps jusqu'à 1 heure 30 minutes. De midi à 2 heures 10 minutes on fait quatre spadlages par les portes 1 et 4, en laissant fermées celles par où on ne travaille pas ; ces spadlages sont espacés d'environ une demi-heure, et chacun d'eux ne dure que quelques minutes.

2 *heures* 10 *minutes.* — On procède à un premier refroidissement (*cooling*). On ouvre les portes 1, 2, 4 et 5, celle du foyer, on pique la grille qui n'a pas été chargée depuis 1 heure 30, et l'on fait tomber le feu, enfin on lève en plein les registres ce qui détermine énergiquement l'appel de l'air froid par les ouvertures de travail.

Près du pont les matières, dont l'épaisseur atteint 0m,15, sont déjà un peu agglomérées; on les divise par un travail à la spadelle; on retourne aussi le minerai par les autres portes, et on termine en relevant du *well* les parties solides qui y sont tombées et que l'on remet autour de lui sur la sole. A 2 heures 25 on ferme la porte 5 et à 2 heures 35 minutes toutes sont en place.

2 *heures* 35 *minutes*. On charge force charbon et le registre est baissé tout de suite après. Ce coup de feu *firing* dure de 55 minutes à 1 heure et on procède à un second refroidissement.

3 *heures* 30 *minutes*. Deuxième *cooling* pour lequel tout est ouvert comme précédemment. Du pont au milieu de la sole on voit çà et là quelques points en fusion et un peu de plomb commençant à couler vers le *well*. Au bout du four, le minerai présente seulement un peu d'agglomération. Comme au premier *cooling* on spadelle, mais sans grand effort; cette fois on travaille aussi par la porte 6.

Ce spadlage dure 10 minutes et à 3 heures 40, tout restant ouvert, on fait la coulée.

Le trou est débouché en frappant avec un ringard pointu et rougi au feu; tout le contenu du *well* passe dans le *pot* et aussitôt après on bouche le trou de coulée. On se sert pour cela de la petite porte ménagée dans la *taping plate*; un tampon d'argile réfractaire est mis au bout du ringard et pressé de dedans au dehors, jusqu'à ce que l'argile sorte par le trou: en même temps la plaque de fonte se trouve garnie à l'intérieur et protégée contre l'action du nouveau bain métallique.

Le *pot* avait reçu à l'avance deux à trois pelletées de houille menue et quelques poignées de copeaux, aussi se produit-il un bouillonnement énergique avec flamme et fumée. Armé de l'écumoire carrée, l'ouvrier remue fortement les matières pendant 6 à 7 minutes; toutes les crasses, dites oxysulfures, montent à la surface, et les deux

fondeurs les enlèvent d'abord à la pelle, puis à l'écumoire carrée et les jettent respectivement par les portes 1 et 3 sur l'espace de la sole réservé de chaque côté du *well*.

L'action du charbon sur ces écumes très-oxydées est suffisante pour qu'elles donnent du plomb sans travail spécial. On spadelle un instant le minerai par les portes 1 et 4; puis on ferme; on charge le foyer et l'on abaisse les registres. Le second *cooling* est terminé à 4 heures.

4 *heures*. Maintenant se donne un coup de feu pendant le commencement duquel on procède au moulage des saumons de plomb : les deux ouvriers se réunissent à cet effet. Avec l'écumoire ronde on enlève sur le pot une petite quantité d'écumes qui se composent de plomb légèrement oxydé et que l'on dépose, en frappant l'outil sur le sol de l'usine; la surface du métal étant bien nette un des fondeurs puise le plomb à la poche et le verse dans les lingotières. Celles-ci, au nombre de dix, sont posées bien horizontalement sur des chantiers. Lorsqu'une lingotière est remplie, l'autre ouvrier nettoie la surface du saumon, en se servant de deux planchettes entre lesquelles il enlève délicatement le peu de crasses qu'il a pu rassembler (*). Les fondeurs alternent de rôle dans l'opération du moulage; ils ont terminé les dix saumons de 160 lbs. chaque, en 20 minutes.

On continue alors à pousser le feu, en ouvrant progressivement les registres, et à partir de 5 heures jusqu'à 6 heures les ouvriers ont à faire plusieurs spadlages actifs pour brasser les matières et déterminer dans cet intervalle la coulée de la majeure partie du plomb dans le *well;* pour ce travail on n'ouvre les portes qu'à mesure de besoin.

6 *heures*. A 6 heures seulement on procède au troisième

(*) Ces crasses, ainsi que les dernières écumes du *pot*, sont vendues à Shrewsbury, où on les emploie dans la fabrication du plomb de chasse; le tout ne forme qu'une fraction négligeable par rapport au plomb moulé.

et dernier *cooling*. La température du four a atteint le rouge vif. Le brassage est continué pendant 15 à 20 minutes. On retire à la surface du *well* les matières agglomérées qui y sont tombées; et on se sert pour faciliter cet enlèvement d'une très-petite quantité de chaux que l'on projette sur le bassin. Les crasses restant sur la sole sont détachées autant que possible et rapprochées du pont, où on les mêle avec un peu de houille menue.

A 6 *heures* 30 *minutes*, on ferme les portes et, après un coup de feu d'un quart d'heure, on travaille les crasses à la spadelle par 1 et 4. Enfin quelques minutes avant 7 heures les crasses encore mêlées et noircies d'un excès de charbon sont retirées au rable et tombent par la porte 4 sur le sol de l'usine. On fait à la sole les réparations nécessaires et à 7 heures l'opération est terminée.

Données économiques. — Les 21 cwts. = 2.352 lbs. de minerai dont se compose la charge ont produit 10 saumons de 160 lbs. chaque; soit 1,600 lbs. de plomb métallique. En mesures métriques de 1,066 kil. on a retiré $725^k,464$. C'est un rendement de 68,027 p. 100. D'autre part la teneur à l'essai peut être estimée à 75,5 p. 100 et comme le minerai est pesé humide à l'usine, mais aussi que les fondeurs mettent bon poids, on peut admettre que ce qui est chargé comme pesant 100 tient réellement 77,5.

Le réverbère à Stiperstones donne donc environ 88 p. 100 du plomb contenu. La perte par volatilisation est faible, et la majeure partie des 12 p. 100 restants se trouve dans les crasses riches; sans parler de la petite quantité de produits plombeux confondus avec les fumées des fours à manches et recueillis avec elles dans la conduite et la chambre de condensation.

Le travail à Stiperstones se reproduit chaque semaine dans les mêmes conditions; il suffira de le décrire pour une d'elles. La première charge est introduite le lundi à 5 heures du matin et les opérations se succèdent jusqu'au vendredi à

10 heures du soir. C'est un total de 113 heures ainsi réparties :

Seize opérations de sept heures chacune .	112
Coulée du plomb et réparations à la fin. . .	1
Total.	113

ou bien encore

Huit postes de douze heures.	96
Un poste de dix-sept heures.	17
Total.	113

Les fondeurs doivent en outre remettre en feu pendant la nuit du dimanche au lundi ; un d'entre eux rallume à 7 heures du soir et à partir de 2 heures du matin pousse le feu activement pour que le four soit au rouge à 5 heures. Il est inutile de dire qu'un chômage aussi prolongé n'est point nécessaire, et que les convenances locales en étaient la seule raison.

On passe 336 cwts. = 16^t,800 et l'on produit 11^t,428 de plomb (*). Les fondeurs, payés en tâche, reçoivent 4 sh. 6 d. = 5^f,60 par tonne de plomb obtenu. Soit pour la main-d'œuvre 51 sh. 5 d. = 64^f,25, et par homme 16^f,06.

On consomme, une fois en marche, 11 cwts de houille par opération ; mais la mise en feu exige 0^t,630, en sorte que l'on brûle pendant la semaine 9^t,430 de houille. Sur les 11 cwts, moitié est brûlée pour les quatre premières heures, et moitié pour la période de réaction et de ressuage. La température du four n'est réellement élevée que pendant l'avant-dernière heure ; aussi la consommation en fer des outils est-elle très-faible. On l'évalue à 2 cwts. = 101^k,5 par mois. Celle de la chaux est presque insignifiante.

On peut résumer les frais spéciaux de la manière suivante :

(*) Dans ces calculs, j'ai cru devoir conserver pour unité la tonne anglaise de 20 cwts = 1.015 kil.

Main-d'œuvre, 19j,66 (journées de 12 heures), à 3f,268	64f,25
Houille, 9t,430 à 18f,75	176f,81
Outils, chaux, frais divers	15f,00
Frais spéciaux par semaine	256f,06

Rapportés à		1 tonne de minerai traité.		1 tonne de plomb obtenu.	
ils donnent :	Main-d'œuvre	1j,17 à 3f,27	3f,82	1j,75	5f,62
	Houille	0t,561 à 18f,75	10f,52	0t,825	15f,46
	Divers		0f,90		1f,32
	Totaux		15f,24		22f,40

J'essayerai plus loin de faire une critique détaillée de l'opération au réverbère gallois, cependant quelques observations sur le travail de Stiperstones sont nécessaires ici pour faire mieux comprendre en quoi consiste la supériorité de celui de Snailbeach.

Sous le rapport des diverses périodes et de leur durée, on a ici :

2 heures consacrées principalement à échauffer le minerai régulièrement. Pendant la dernière heure de l'opération précédente, la température du four a cessé de s'accroître ; la charge est considérable, en sorte que, malgré l'étendue des parois portées en rouge, il est nécessaire de charger la grille pour atteindre le point où l'oxydation peut commencer. C'est cependant ce qui a lieu au bout d'une heure et demie.

½ heure employée au *cooling* permet à l'air extérieur d'oxyder et de refroidir en même temps les matières ;

1 heure de coup de feu les ramène à la température favorable à l'oxydation et détermine déjà le commencement des réactions du sulfure sur les parties oxydées.

½ heure pour le deuxième *cooling*, achève presque de former la proportion d'oxydes propre à la réaction définitive.

2 heures sont consacrées à chauffer et brasser pour la coulée du plomb ;

1 heure enfin au ressuage et à l'enlèvement des crasses.

7 heures. Durée de l'opération.

A cette division du travail on peut faire les reproches suivants : les coups de feu et les *coolings* sont respectivement trop prolongés ; on échauffe trop ; on atteint d'abord l'agglomération, puis le début des réactions beaucoup trop vite ; il est alors nécessaire de laisser les portes longtemps ouvertes pour prévenir la fusion des matières ; en somme au lieu de maintenir la température autour du point d'oxydation on la fait beaucoup trop osciller.

D'autre part, malgré la bonne disposition du *well*, il est évidemment vicieux d'y laisser le plomb pendant une fraction notable de l'opération suivante.

Ces inconvénients peuvent être évités en rétribuant davantage les fondeurs ; ils sont d'ailleurs atténués à Stiperstones par la facilité particulière avec laquelle les minerais se prêtent à la fonte.

Travail à Snailbeach. — A Snailbeach on charge dans le four entièrement vide et nettoyé, sauf la partie de la sole voisine du bassin, du côté de l'avant, où se trouve un faible résidu des écumes enlevées sur le *pot*. La galène au poids de 24 cwts. = 1,218^{k},779 est étendue au rable ; et dans le four à cinq portes son épaisseur devant le pont n'est que de 0^{m},10. Après deux heures, pendant lesquelles on retourne le minerai et égalise les surfaces à quatre reprises, on commence une période d'oxydation de quatre heures, et composée de *coolings* et *firings* fréquemment répétés. Six heures après le chargement, on élève la température, et pendant cette période de deux heures, a lieu sous l'action de brassages énergiques la coulée de la majeure partie du plomb vers le *well*. Sur la fin, on rapproche du pont les crasses restées sur la sole, ou relevées à la surface du *well*, et on en fait le ressuage en y incorporant un peu de chaux. On les fait ensuite tomber sur le sol de l'atelier par la porte du milieu de l'arrière.

On procède à la coulée (8^{h} 1/2 du commencement) ; on écume le *pot* ; et les matières mêlées de charbon, mises sur

la sole devant la porte 1, donnent leur plomb sans travail sensible. Le métal arrive au *well*, et de là dans le *pot* pendant le moulage. On répare la sole, et l'opération est terminée au bout de neuf heures.

Pendant le grillage, les *coolings* ne durent que quinze minutes chacun, et les *firings* à peu près autant, en sorte qu'en quatre heures on fait huit *coolings* et huit *firings*. On évite avec soin de produire le plomb métallique ; dès que la température de la réaction semble atteinte, on s'empresse d'ouvrir, soit 1 et 4, soit 1, 2, 4 et 5 ; en outre lors des *coolings*, l'ouvrier spadelle sans grande pression en retournant l'outil alternativement une fois vers le pont et la suivante vers les carneaux. Par ces précautions, on détermine une oxydation régulière ; c'est-à-dire que les parties oxydées se trouvent à mesure répandues dans la masse des matières, on n'a pas d'agglomération qui vienne s'opposer au contact des gaz oxydants, et l'on peut enfin dans la période de réaction obtenir une très-forte proportion du plomb métallique contenu. Dans cette période, ou pousse vivement le feu, puis l'on brasse en n'ouvrant que les portes nécessaires au travail ; l'ouvrier rapproche activement les matières agglomérées et détache celles qui adhèrent à la sole.

Le ressuage laisse 3 cwts de crasses assez sèches, jaunâtres et tenant environ 40 p. 100 à l'essai.

Les lingotières sont ici suspendues à une romaine lors du moulage, et les saumons ont tous exactement le même poids ; savoir 1 1/4 cwt. = 140 lbs. = $63^{k},452$.

Données économiques. — De la charge de 24 cwts. = 1,219 kil. on retire quatorze saumons pesant 17 1/4 cwts. = $874^{k},592$. C'est un rendement de 71,873 p. 100.

Voici maintenant le travail d'une semaine à Snailbeach : du lundi matin à 5 heures au samedi matin 11 heures, on fait :

14 opérations de 9 heures ; total : 126 heures réparties en

Neuf postes de douze heures.	108
Un poste de dix-huit heures.	18
Total.	126

On passe : 336 cwts. = $16^t,800$, et l'on produit $12^t,075$ de plomb. Les fondeurs reçoivent 6 sh. = $7^f,50$ par tonne de plomb obtenu. Soit pour la main-d'œuvre 75 sh. 5,4 d. = $90^f,54$, et par homme $22^f,63$. On consomme en marche 12 cwts de houille pour 21 cwts. de minerai ; mais la mise en feu exigeant 8 cwts. = $0^t,400$, on brûle réellement 12 1/2 cwts. pour 21 cwts. de minerai ; en d'autres termes, 10 tonnes de houille par semaine. Lorsque les fondeurs réussissent à économiser sur ce chiffre, ils reçoivent une prime fixe de 2 sh. 6 = $3^f,10$; mais ils y parviennent si rarement qu'il n'y a pas lieu d'en tenir compte dans la valeur de la main-d'œuvre.

Les frais spéciaux au réverbère peuvent s'établir ainsi :

Main-d'œuvre, 21 journées à $4^f,311$.	$90^f,54$
Houille, 10 tonnes à $18^f,75$.	$187^f,50$
Outils, chaux, divers.	$16^f,00$
Frais spéciaux par semaine.	$294^f,04$

Rapportés à.		1 tonne de minerai traité.		1 tonne de plomb obtenu	
Ils donnent :	Main-d'œuvre.	$1^j,250$ à $4^f,311$	$5^f,389$	$1^j,82$	$7^f,50$
	Houille.	$0^t,595$ à $18^f,75$	$11^f,161$	$0^t,828$	$15^f,53$
	Divers.		$0^f,952$		$1^f,32$
	Totaux.		$17^f,502$		$24^f,35$

Travail au four castillan. — Les crasses sont réduites au four castillan à trois tuyères. On charge alternativement et par couches, tout autour de la cuve, le lit de fusion et le coke. Le travail est très-rapide, car on arrive à passer 100 tonnes de crasses dans une semaine. En moins d'un mois on peut traiter les crasses produites pendant toute une année par les quatre réverbères. Le rendement des crasses est de

32 p. 100 environ ; la consommation du coke n'est que de 0t,224 par tonne de crasses.

Opinion sur les pertes en plomb. — Le caractère de la méthode suivie à Snailbeach est *l'extraction au réverbère d'une très-forte proportion du plomb* contenu dans le minerai. On n'épargne pour atteindre ce but ni le temps, ni le combustible, ni la main-d'œuvre.

Il y aurait très-grand intérêt à connaître au moins approximativement les teneurs des matières traitées et de tous les produits secondaires, car on pourrait alors apprécier plus sûrement les résultats obtenus, surtout en ce qui concerne les pertes en métal aux diverses opérations.

Mais j'ai prévenu au début de cette notice que les essais faisaient défaut ; d'autre part, les renseignements verbaux sont toujours empreints d'exagération, lorsqu'ils touchent à un pareil sujet.

Cependant par une discussion prudente il est possible de se former une *opinion* qui, fort éloignée de la certitude désirable, possède une certaine dose de probabilité.

Je ferai l'hypothèse d'un traitement annuel de 3.000 tonnes de minerai. La teneur moyenne à l'essai est de 80 p. 100 : le minerai est pesé humide, mais on met bon poids ; en sorte que l'on peut admettre que ce qui est chargé comme 1.000 kil. de minerai renferme réellement 810 kil. de plomb.

Le réverbère pour un rendement de 71.873 p. 100, donnera 2.156t,19 de plomb métallique et 375 tonnes de crasses. Les crasses contiennent 180 tonnes de plomb, rendent à l'essai 40 p. 100 et au four castillan 32 p. 100, soit 120 tonnes de plomb en saumons. Sur les 60 tonnes qui forment la différence entre la teneur et le rendement, 12 restent dans les scories et 48 sont volatilisées. De ces dernières on recueille (en y joignant les fumées des réverbères) 25 tonnes de fumées qui rendent 12 tonnes de plomb.

De là on déduit les chiffres suivants :

	Rendement de 1.000 kil. de minerai contenant 810 de plomb. kil.	Rendement de 3.000 t. de minerai, contenant 2.430 t. de plomb. tonnes.
Au réverbère	718,73	2.156,190
Au four castillan.	40,00	120,000
Fumées.	4,00	12,000
Rendements totaux.	762,73	2.288,190
Perte par 1.000 k. de minérai.	47,27	Perte totale. 141,810
	810,00	2.430,000

La perte se subdiviserait ainsi, en négligeant de distinguer celle qui se produit dans la réduction des fumées :

	Pour 1.000 kil. de minerai. kil.	Pour 3.000 ton de minerai. tonnes.
Plomb volatilisé au réverbère.	31,27	93,810
Plomb volatilisé au four à tuyères, déduction faite du plomb extrait des fumées.	12,00	36,000
Plomb resté dans les scories	4,00	12,000
	47,27	141,810

La perte pour 100 kilogrammes de plomb contenu ne serait que de 5k,71.

Je sais que ce chiffre paraîtra bien faible et je n'affirme point qu'on y arrive à Snailbeach malgré des prétentions à faire mieux encore ; mais je crois qu'avec des minerais purs à la teneur supposée de 81, avec un four en bon état et des ouvriers habiles et appliquant la méthode précédemment décrite on s'éloignerait peu de ce beau résultat. Peut-être me l'accordera-t-on plus volontiers lorsque j'aurai insisté sur les avantages du four gallois et fait un parallèle sommaire entre lui et d'autres reverbères employés sur le continent.

Statistique. — On trouve, dans les livraisons de 1853-54 à 1860 de la *Statistique minérale* de M. Robert Hunt, des renseignements sur la production en minerais et en plomb

métallique du Shropshire. Malgré l'exactitude bien connue de ces documents, il y a lieu d'observer qu'ils résultent ici de la simple déclaration des exploitants et qu'ils ne sont point confirmés, comme dans beaucoup d'autres cas, par l'authenticité des ventes publiques.

En outre, les améliorations récemment introduites à Snailbeach, et l'irrégularité qui en est résultée momentanément dans l'élaboration des produits secondaires, ne m'ont point permis de prendre ces chiffres comme base certaine du rendement des minerais dans cette usine. Mais ils fournissent une indication intéressante de la production du district et de l'importance relative de Snailbeach.

Tableau de la production en minerai et plomb métallique.

ANNÉES.	SHROPSHIRE.				MINE DE SNAILBEACH.			
	Mineral.		Plomb métallique.		Mineral.		Plomb métallique.	
	tons.	cwts.	tons.	cwts.	tons.	cwts.	tons.	cwts.
1853	3.508	»	2.528	»	2.817	»	2.010	15
1854	3.797	»	2.729	10	2.425	»	1.753	»
1855	3.310	16	2.420	»	2.591	4	1.873	»
1856	4.407	19	3.228	15	2.945	»	2.120	»
1857	3.349	15	2,560	15	2.266	12	1.746	11
1858	3.994	12	2.993	7	2.237	15	1.840	13
1859	4.062	14	3.008	6	3.024	15	2.277	17
Totaux	26.430	13	19.468	13	18.307	4	13.621	16
Moyennes annuelles.	3.775	17	2.781	5	2.615	6	1.945	19

Dans ce tableau on doit observer que la tonne de minerai est de 21 cwts = 1.066^{k},431, tandis que la tonne de plomb ne pèse que 20 cwts = 1.015^{k},649.

De la comparaison des moyennes annuelles, on conclut qu'il a été extrait de 100 tonnes de minerai, à Snailbeach, 74^{t},407 de plomb, et pour tout le Shropshire 73^{t},660 seulement de métal; mais le véritable rendement pour 100, s'obtient en prenant les 20/21 de ces chiffres et serait alors, à Snailbeach, 70.864 et pour le comté 70.152.

Si nous considérons au même point de vue quelques-uns

des termes de cette période, nous rencontrons les irrégularités ci-dessus mentionnées pour Snailbeach.

Ainsi 1854 nous donne : rendement apparent 72,29; rendement vrai (20/21 du précédent) 68,84.

En 1858, M. Hunt note qu'une partie du plomb a été extraite de scories (*slags*) de l'année précédente ; en additionnant les chiffres de 1857 et 1858 nous avons :

	tonnes. cwts.		tonnes. cwts.
Minerai.	4.504 6	Plomb	3.587 4

d'où :

Rendement apparent. . . .	79,64	Rendement vrai. .	75,847

Enfin, en 1859, on a :

Rendement apparent. . . .	75,37	Rendement vrai. .	71,78

Pour cette même année la production mensuelle a atteint environ :

252 tonnes de minerai et 190 tonnes de plomb.

Avantages du four gallois et de la méthode de Snailbeach. — Après avoir décrit avec détail le réverbère et la conduite de l'opération, il devient à propos de faire ressortir les avantages particuliers que présentent d'une part l'appareil, de l'autre la méthode de Pontesford. Il est bon pour cela d'entrer dans quelques considérations sur les principes eux-mêmes du traitement de la galène par réaction.

Partout l'opération au réverbère se partage en trois périodes : 1° Échauffement et oxydation ; 2° réaction ; 3° ressuage.

Ces divisions sont plutôt théoriques qu'absolues. Ainsi, dans la plupart des usines la réaction se fait en plusieurs intervalles séparés par autant de grillages; c'est-à-dire que la première période se prolonge en se confondant avec la seconde. Inversement la réaction, manifestée par la coulée du plomb, commence souvent d'elle-même après un certain temps de grillage.

La nature du minerai suffit d'ailleurs dans un même appareil pour amener de grandes variations dans la marche et les résultats de l'opération.

A ne parler que des galènes riches en plomb et pauvres en argent l'opération sera aussi bien conduite que possible, si ces divisions sont nettement observées dans la pratique; en d'autres termes si l'on a : 1° Un grillage effectué *à point* après un échauffement régulier, et pour cela une température pas trop élevée; 2° une réaction exécutée par coups de feu et brassages énergiques, donnant en peu de temps une très-forte proportion de plomb métallique et laissant très-peu de matières à soumettre au ressuage; 3° Celui-ci pouvant, par conséquent, se terminer promptement et ne fournir qu'une faible quantité de crasses à passer au four à tuyères.

En effet, si l'on rapproche les frais de traitement de la valeur du métal perdu, on voit que, même pour le plomb pauvre, il y a bénéfice à accroître les frais dans des limites assez étendues, si on réussit en même temps à diminuer la perte en plomb. Or, celle-ci est proportionnellement très-grande aux fours à tuyères, même lorsqu'on a de bons appareils de condensation; de là l'importance de n'avoir que peu de crasses. Au réverbère, la perte par volatilisation n'est notable que si les deux dernières périodes sont prolongées, car la température qu'elles exigent est seule assez élevée pour déterminer un fort entraînement des vapeurs plombeuses; de là un motif de raccourcir ces périodes en reportant le travail de l'ouvrier sur la première.

On voit aisément que toutes ces conditions de succès se résument en celle-ci : *Obtenir au four à réverbère la plus forte proportion possible de plomb métallique.*

Cette formule est, je crois, admise dans toutes les usines qui traitent les galènes riches en plomb et pauvres en argent; pourquoi est-elle donc réalisée de façons si variables et pourquoi, avec des minerais *identiques*, voit-on certaines

localités ne l'atteindre qu'à grand renfort de main-d'œuvre et de combustible, tandis que d'autres, et Pontesford est du nombre, réussissent sans consommation exagérée ?

La disposition du réverbère peut seule en rendre compte ; et parmi les détails favorables du four gallois, le plus heureux me paraît être le *grand nombre des ouvertures de travail*.

Utilité des nombreuses ouvertures du four gallois — Voyons, en effet, dans quelles circonstances la réaction se produit. Dès qu'un point de la matière est oxydé, si sa température peut s'élever au rouge cerise et qu'il soit en contact avec du sulfure, le plomb coule. Théoriquement il faudrait que la galène fût en particules fines ; qu'une proportion exacte en équivalents existât entre les parties oxydées et celles restées à l'état de sulfure ; enfin qu'un mélange parfait amenât partout le contact des deux sortes de substances ; dans ces conditions un coup de feu de quelques minutes donnerait le plomb presque sans brassage.

Dans la pratique on ne peut s'en approcher que si l'on a très-bien mené la période d'oxydation, c'est-à-dire si l'on a : 1° répété les rablages et retournements de manière à mêler à mesure et d'avance les parties qui s'oxydent, surtout à la surface du minerai, à la masse encore à l'état de sulfure ; 2° évité d'atteindre pendant cette période la température de réaction, ou plutôt *refroidi* les matières aussitôt que l'on s'est vu sur le point d'y arriver.

La première condition peut être en tout lieu obtenue à l'aide d'ouvriers actifs et vigoureux ; la seconde exige que le four soit convenablement disposé ; elle est réalisée par les portes du four gallois. Les expressions *firing* et *cooling* rendent parfaitement compte de l'emploi de ces portes. Le coup de feu (*firing*) se produit quand elles sont en place ; lorsqu'on les ôte l'air froid (*cooling*) arrive au ras des matières échauffées, les oxyde et les refroidit en même temps ; le spadlage égalise l'action oxydante et aussi renouvelle les

surfaces exposées aux flammes dans le *firing* suivant. Après un *cooling* dont la durée dépend de la température antérieure et de l'état des matières, celles-ci doivent être échauffées de nouveau pour se prêter à l'oxydation.

Ce serait bien à tort que l'on confondrait les *firing* et *cooling* gallois avec les coups de feu et brassages pour réaction qui, dans d'autres méthodes, occupent une grande partie de l'opération. Ils ont ici la valeur des mots qui les expriment et plus tard, même à la fin de la seconde période, le dernier *cooling* sert à refroidir et à solidifier avec l'aide de la chaux les composés plus ou moins fondus que l'on va soumettre au ressuage. Grâce à la disposition du four on peut donc, à Snailbeach, avec des ouvriers habiles et bien payés et en y mettant le temps nécessaire, préparer le minerai assez bien pour que la seconde période soit courte et efficace; que l'on y obtienne beaucoup de plomb et peu de matières de ressuage. Celles-ci, en effet, appelées généralement oxysulfures sont, comme l'a montré M. Rivot (*), de simples mélanges de composés oxydés et sulfurés, dans un état physique tel que la réaction ne peut avoir lieu; ces oxysulfures se produisent dès que la température s'élève plus qu'il n'est nécessaire pour la réaction, et surtout sous la pression des outils lors des brassages chauds; si donc la seconde période est rapide, il devient possible d'éviter de les former abondamment. En même temps aussi, on diminue la perte au réverbère par volatilisation.

Comparaison sommaire avec le traitement à Bleyberg de Carinthie. — Je reviendrai sur les dispositions qui concourent à ce résultat, mais avant j'essayerai de mettre tout à fait en évidence l'utilité des nombreuses ouvertures du four gallois en comparant sommairement la méthode de Pontesford à celle de Bleyberg (Carinthie) où l'on traite des minerais de nature identique dans un réver-

---

(*) *Traité de métallurgie*, tome II, p. 37.

bère qui *n'a pas de portes pour l'accès de l'air froid*, et où l'oxydation n'est due qu'aux flammes du bois et à l'air chaud qui a traversé la grille. J'emprunte les éléments de cette comparaison au traité de M. Rivot (pages 298 à 316) dans lequel on trouvera une description complète avec dessin du réverbère.

Minerais sulfurés pauvres en argent; teneur en plomb 65 à 72 p. 100 à l'essai, et supposée de 65 à 66 dans l'exemple choisi.

Gangue calcaire; un peu de blende; traces de quartz, argile, et pyrite de fer. Combustible; le bois exclusivement.

Four à sole allongée, inclinée vers la porte de travail, qui s'ouvre au-dessous du rampant; bassin de réception extérieur, dans une embrasure au devant de la porte. Dimensions principales :

Sole $3^m,47$ sur $1^m,46$; foyer $1^m,35$ sur $0^m,47$; passage des flammes au pont $1^m,00$ sur $0^m,25$; rampant $0^m,75$ sur $0^m,50$.

Le tableau suivant résume les principales circonstances de l'opération, la durée des périodes et les quantités de plomb obtenues à divers intervalles.

Opération au Bleyberg-Carinthien.

DURÉE du commencement.	DURÉE des périodes.	Le four est vide, la sole réparée; la température supérieure au rouge sombre; le foyer ne produit plus de flammes.	PLOMB OBTENU. Quantités partielles.	PLOMB OBTENU. Totaux.
			kil.	kil.
0h	. . .	On charge 207 kilogrammes.		
	3h	Échauffement rapide et grillage; quelques ráblages	70	»
3	. . .	Faible coup de feu et brassage; première réaction; alternances de grillages et de réactions. .		
	4	On retire les matières, sur lesquelles on a jeté du charbon		
7	. . .	Four moins chaud qu'au début. Charge, 207 kil.	56 à 60	»
	7	Répétition du traitement exécuté sur la première charge		
14	. . .	Le résidu de la première charge est remis dans le four, mêlé à celui de la seconde; coup de feu et brassage	20	»
	1			146 à 150
15	. . .	Ressuage des crasses oxydées; addition de bois et de charbon sur la sole; coup de feu et brassages; on atteint le rouge vif..	100	100
	8	Les crasses sont retirées et ordinairement jetées. On procède à une purification du plomb, par refonte, et on termine par le moulage. On répare la sole.		
23	23	L'opération est terminée; elle a produit en plomb.	»	246 à 250

En vingt-trois heures on a passé 414 kil. de minerai et obtenu 246 à 250 kil. de plomb; c'est un rendement de 60 p. 100. La teneur à l'essai étant 65, ce qui suppose une teneur vraie de 69, la perte en plomb a été de 9 à 10 de métal p. 100 parties de minerai, soit 14 à 15 p. 100 de plomb contenu. Moitié au moins du plomb perdu reste dans les crasses.

On consomme par tonne de minerai non moins de $1^{t},60$ de bois, $2^{p},417$ (postes de 23 heures) main-d'œuvre spéciale et $2^{j},040$ de manœuvres, soit environ sept journées d'ouvriers; l'usure des outils est très-forte.

Tous ces gros chiffres portent leur critique en eux-mêmes et l'on voit ce qu'il en coûte à Bleyberg pour réaliser la formule ci-dessus énoncée, « obtenir au réverbère la plus forte proportion possible de plomb métallique. »

L'opération traîne en longueur, parce que le grillage ne peut pas être bien fait, quoique les gaz soient toujours oxydants. En effet, ils sont toujours chauds, et *faute d'accès pour l'air froid*, il est impossible de déterminer une oxydation active sans atteindre la température de la réaction; de là, confusion de la première et de la seconde période; production d'une énorme proportion de matières de ressuage, perte notable par volatilisation, consommations excessives (*).

Dispositions particulièrement prises contre la perte par volatilisation. — On volatilise à Bleyberg 6 à 7 p. 100 du plomb contenu, et si l'on rapproche les circonstances du travail en Carinthie et à Pontesford, on m'accordera que je n'ai pas pris un chiffre trop bas en évaluant la perte au réverbère gallois à environ 4 p. 100. Les durées respectives des opérations et particulièrement des périodes chaudes suffiraient à justifier une semblable différence, mais il faut encore tenir compte des dispositions spéciales des fours.

A Bleyberg, le plomb parcourt dans le même sens que les gaz une sole fortement inclinée, mais aussi très-échauffée et très-longue; il n'est soustrait aux causes de pertes qu'à son arrivée au bassin extérieur.

A Pontesford, l'axe de la grille est reculé de $0^m,25$ vers le côté d'arrière; les flammes se portent au-dessus du mi-

(*) Ayant cherché à montrer l'avantage des nombreuses ouvertures, je crois devoir indiquer les dimensions et les rapports des surfaces principales du four de Stiperstones:

	m.q.		m.q.	m.q.
Surface de la sole: environ. . . .	7,25	Carneaux d'avant.	0,0851	0,1781
Surface de la grille.	1,04	Carneaux d'arrière. . . .	0,0930	
Passage des flammes au-dessus du pont.	0,525	Une porte de travail. . .	0,0186	
		Six portes de travail. . .	0,1116	0,2046
		Porte du foyer.	0,0930	

Rapports approchés:

De la grille à la sole. . . . . = 1/7
Des carneaux à la grille. . . . . = 1/6
Des six portes, plus la porte du foyer, à la grille. . . . = 1/5
D'une porte aux carneaux. . . . . = 1/10
Des carneaux aux sept portes. . . . . = 9/10

nerai et s'éloignent d'autant du côté d'avant où coule le plomb; la voûte est élevée de près d'un mètre au-dessus de la grille, le courant gazeux principal est donc distant des matières. Le bassin intérieur en forme de fossé profond est atteint par le plomb sans long parcours; enfin la porte ménagée dans la plaque de coulée laisse au-dessus d'elle accès constant à un filet d'air froid qui vient frapper la surface du bain métallique.

Main-d'œuvre; production. — Lorsqu'on opère sur des minerais identiques dans des fours différents et avec des ouvriers d'énergie diverse, la quantité de matière passée dans un temps donné dépend de deux variables : nature de l'appareil, efforts développés par le fondeur.

Désignons par c le poids d'une charge en kilogrammes, par d la durée en heures de l'opération, par a le poids de minerai passé en douze heures, c'est-à-dire la mesure de *l'activité* du four. On a : $a=12\frac{c}{d}$; ce qui donne :

	Valeurs de a.	Poids passé par homme et par 12 heures.
Stiperstones	1.827 kil.	913
Snailbeach	1.625	812
Bleyberg	216	108

L'ouvrier allemand élabore dans un temps déterminé huit fois moins de minerai que le fondeur gallois, et l'énergie de ce dernier, quoique probablement supérieure, ne peut pas l'être dans le rapport de 8 : 1; de là ressort jusqu'à l'évidence l'infériorité du four de Bleyberg.

Je ne pousserai pas plus loin la comparaison de ces deux méthodes, et malgré l'importance de la question je renoncerai, pour ne pas dépasser le cadre de cette notice, à établir un parallèle entre le four gallois et le four breton. Ce dernier employé en France possède les trois portes de travail de la face d'avant, et jouit en conséquence d'une partie des avantages du réverbère anglais.

Avantage économique d'une activité modérée. — En admettant trois cents jours de travail par année, il suffit de multiplier l'activité journalière (*a*) par 600 pour obtenir le poids de minerai, qui peut être traité par un four en un an. Nous avons ainsi pour :

Stiperstones.	1.096 tonnes.	Activité annuelle.
Snailbeach.	975 tonnes.	

Dans les grandes usines du Flintshire où l'on pousse à la production, on charge au four gallois 1^k,066 chaque six heures, et l'on atteint une activité annuelle de 1.280 tonnes.

On réalise en même temps une économie sur la main-d'œuvre et sur le combustible; mais en revanche l'opération conduite trop rapidement n'offre pas dans la première période la même nètteté qu'à Snailbeach; on obtient au réverbère moins de plomb métallique et plus de crasses, et la perte monte à 10 p. 100 de plomb contenu.

Ici, comme partout, il y a avantage à ne pas forcer la production des appareils, et la supériorité économique reste acquise à une activité modérée et bien entendue comme celle de Snailbeach.

Conclusion.— De cette discussion, je suis loin de conclure que le four gallois devrait être partout préféré pour le traitement de la galène, et il importe de rappeler les circonstances auxquelles il se prête et les conditions dans lesquelles il réussit.

Lorsqu'on extrait des minerais de plomb très-argentifères, ainsi qu'il s'en trouve sur beaucoup de points de la France, on ne doit pas demander à la préparation mécanique un schlich d'une teneur élevée; dans ce cas important le réverbère cède la place au four à manche.

Mais si l'on a affaire à de la galène pauvre en argent et riche en plomb, particulièrement si la gangue est peu quartzeuse, le four gallois donnera assurément de bons résultats. On objectera peut-être que certaines localités n'ont

à leur service que du bois, mais une légère modification au foyer du four gallois y rendrait facile l'emploi de ce combustible.

Là où d'autres méthodes sont établies on pourra faire valoir la considération si grave des usages locaux et des traditions conservées par les ouvriers ; mais chacun pourra aussi faire la balance entre le maintien de procédés connus et l'adoption d'un réverbère qui, bien conduit, consomme peu de combustible, peu de main-d'œuvre, permet un rendement élevé et une faible perte en métal ; tous avantages indépendants du pays où on l'emploie.

NOTE

SUR LA FABRICATION DU MINIUM A L'USINE DE SHREWSBURY.

Par M. L. MOISSENET, ingénieur des mines.

L'usine de MM. Burr frères, à Shrewsbury, achète à Pontesford et à Brymbo, près Wrexham, le plomb brut qu'elle convertit en feuilles, tuyaux, plomb de chasse et minium.

Pour la fabrication de ce dernier produit, on emploie un four de nouveau modèle et ingénieusement disposé. C'est cet appareil que j'ai surtout pour but de faire connaître dans cette note, d'un caractère d'ailleurs purement descriptif.

Mode ordinaire de fabrication du minium. — La production des litharges a été beaucoup diminuée en Angleterre par la généralisation du procédé Pattinson; d'autre part, le minium destiné aux cristalleries ne saurait être trop pur; on trouve donc toute convenance à choisir un plomb pauvre en argent et bien pur, à le soumettre à une première oxydation pour litharge, enfin à colorer celle-ci pour minium au moyen d'un second feu.

Ordinairement ces deux opérations sont faites dans un même four à réverbère; sa sole est en forme de secteur circulaire; il a deux foyers latéraux et une seule porte s'ouvrant sous une hotte et servant à la fois au travail et à la sortie des gaz. Les litharges obtenues par un premier feu sont broyées à l'eau entre des meules horizontales et les matières fines retirées des bassins de dépôt retournent au réverbère pour y subir une oxydation fort lente; la coloration obtenue, on les moud à sec pour minium (red lead).

Le produit est mis en tonneaux pour la vente. Tel est le mode de fabrication suivi à Deebank près Holywell (*).

Four de Shrewsbury pour l'oxydation du plomb. — A Shrewsbury, on oxyde les plombs de Pontesford dans un four spécial; le bain métallique est soumis à l'action d'un agitateur mû par une machine à vapeur.

La sole est elliptique; le grand axe, parallèle à la face de travail, a $4^m,25$, et le petit axe $3^m,35$; au centre est un bassin de $0^m,30$ de profondeur maxima et $1^m,50$ de diamètre.

L'espace laissé libre par le bassin mesure donc $1^m,37$ des bords à chaque extrémité du grand axe, et $0^m,92$ comptés sur le petit axe.

Deux foyers semblables sont installés l'un à droite, l'autre à gauche; les flammes ont accès dans le four par-dessus deux ponts, de $1^m,50$ de longueur, et faisant face au bassin central.

Un carneau ouvert au fond de chaque foyer détermine un faible tirage et donne issue aux gaz. La largeur des foyers est de $0^m,60$; dans le sens de la longueur, ils ne vont point au delà de l'ouverture des ponts sur la sole.

En coupe, la voûte s'élève à $2^m,45$ au-dessus du centre du bassin; celui-ci est profond de $0^m,30$; la sole qui possède une pente générale vers le bassin arrive à $0^m,60$ en contre-bas des ponts. La voûte est une calotte elliptique recouvrant la sole, sauf aux deux extrémités où elle est pénétrée par les voûtes des foyers.

Outre les portes des foyers, il n'y a sur la face d'avant qu'une porte pour le travail, le chargement et le décharge-

(*) Les mines ouvertes dans le calcaire carbonifère du Flintshire fournissent de la galène dont la teneur en argent est peu élevée; à Deebank, les lots de minerai, particulièrement pauvre et pur, sont fondus à part en vue de cette méthode de préparation du minium. Dans la même usine, on colore d'ailleurs pour minium les meilleures litharges de la coupellation.

ment; elle a $0^m,60$ de côté; la fermeture n'est jamais complète, car les deux battants en tôle laissent entre eux et le seuil $0^m.076$, et au-dessus d'eux $0^m,178$ d'espacement pour l'accès de l'air.

L'agitateur se compose de deux palettes en fer d'environ $0^m,10$ de hauteur, assujetties en croix sur un axe vertical qui traverse la calotte du four et reçoit extérieurement par poulies et courroie le mouvement de la machine.

Les fours d'oxydation sont au nombre de trois juxtaposés dans une même halle et formant un massif de $15^m,25$ de longueur.

Opération. — L'opération commence à six heures du matin et dure vingt-quatre heures.

Le four est chaud; on charge quelques saumons; en peu de temps le plomb a coulé au bassin. L'agitateur est mis en marche à raison de quarante à cinquante tours par minute, et le plomb est projeté en gouttelettes sur le pourtour de la sole.

Sous l'action de l'air qui arrive par la porte de travail le métal ainsi divisé s'oxyde rapidement. Aussitôt qu'une certaine quantité de litharge est produite, l'ouvrier, avec son rable en forme un bourrelet autour du bassin. Pendant douze heures l'agitateur continue de tourner; on maintient la température régulièrement au rouge, et l'on introduit progressivement environ 2.000 kil. de plomb. A six heures du soir il n'y a plus que fort peu de métal dans le bassin. Sur la sole, la majeure partie est déjà oxydée; le reste à l'état métallique est disséminé dans la litharge. On arrête l'agitateur et pendant toute la nuit on soutient le feu. Du plomb retenu sur la sole, une partie s'oxyde encore, l'autre regagne le bassin central; en sorte que la litharge produite contient peu de grenailles.

On la retire au rable encore chaude, et on la fait tomber dans un grand chariot en tôle, à deux roues et chargeant

750 kil.; elle y est aussitôt humectée pour prévenir toute perte sous forme de poussières.

Cette litharge est jaune pâle avec quelques parties d'un rouge clair; elle est fort peu agglomérée.

L'opération est terminée à six heures du matin; il reste environ 250 kil. de plomb dans le bassin pour celle qui va suivre; c'est-à-dire qu'en vingt-quatre heures on a oxydé dans un seul four environ 1.750 kil. de métal. Deux fours étaient en feu.

Moulins à litharge. — L'appareil pour la mouture et le classement par dépôt des litharges est très-bien installé. Il est symétrique et comprend deux groupes formés chacun de deux paires de meules en cascade, et pouvant fonctionner ensemble ou séparément.

Un bassin commun de 6 mètres de long sur 3 mètres de large, est situé en avant des moulins, au sol de l'atelier.

La litharge humide est introduite progressivement dans une trémie, dont le fond est muni d'une hélice distributive: la première paire de meules reçoit les matières au centre avec un petit filet d'eau; la boue qui en sort passe à la seconde paire, et de là dans une cuve de $1^m,20$ de profondeur.

Ici elle est délayée à la faveur d'un courant d'eau, dont j'indiquerai l'origine, et à l'aide d'un agitateur en fer, auquel sont suspendues des chaînes participant au mouvement de rotation. Du côté opposé au moulin, les eaux chargées de litharge débouchent de la cuve dans un canal en planches de $0^m,45$ de large et de $4^m,85$ de longueur. Le plomb métallique qui n'aurait pas été retenu dans la cuve s'arrête dans le canal, où restent aussi les particules imparfaitement broyées. Des tasseaux introduits au bout du canal à mesure du remplissage font déversoir dans le bassin de dépôt, commun aux deux groupes de moulins. Ce bassin, dont les longs côtés sont formés sur $4^m,85$ par les canaux, retient en queue la litharge fine; vers sa tête, dans la partie située

entre les deux cuves agitatrices, l'eau revient presque claire et elle y est reprise par une petite roue hydraulique qui la ramène dans un canal transversal aboutissant aux cuves entre les points d'arrivée et sortie des matières.

En dix heures et demie de travail, on broie cinq chariots de 750 kil., soit 3.750 kil. A la fin de la journée on décante au siphon l'eau des cuves et du bassin; les trois quarts des litharges admises au broyage sont retirées du bassin prêtes pour le feu de coloration; l'autre quart, arrêté à la cuve et au canal, passe d'abord à un feu d'oxydation de quinze heures (four ordinaire ci-après décrit), puis revient au moulin.

Four ordinaire servant à la coloration. — Le four ordinaire employé ici à la mise en couleur présente la disposition suivante. La sole, en forme de secteur, a 3 mètres de corde et 3 mètres du fond à la porte de travail; celle-ci a $0^m,76$ de largeur et les deux côtés de la sole sont déterminés par des droites joignant les bords de la porte aux extrémités de l'arc qui limite le fond du four. Les foyers sont installés dans les espaces triangulaires ainsi laissés de part et d'autre de la porte, les flammes débouchent vers le fond, et les gaz de la combustion viennent sortir par la porte unique, pour être enlevés dans la vaste hotte qui règne au-dessus de la face d'avant.

La hauteur maxima de la voûte est d'environ $0^m,90$.

On charge 1.500 kil. de litharge humide; la température est maintenue au rouge pendant quarante-huit heures, et les rablages sont presque continus.

A Deebank, la coloration des litharges de la coupellation exige aussi quarante-huit heures; mais il n'en est pas de même lorsqu'on part comme ici du plomb métallique. Dans ce cas l'oxydation au réverbère dure douze heures seulement; mais les matières broyées et renvoyées au même four doivent y rester soixante-douze heures pour se transformer en minium.

Je ne possède pas de renseignements suffisants pour établir le prix de revient du minium et faire ressortir l'avantage du four mécanique de Shrewsbury.

Évidemment préférable sous le rapport de la main-d'œuvre, il semble surtout bien entendu au point de vue du rendement. Ici, comme à Pontesford, c'est à l'air froid que l'on recourt pour déterminer l'oxydation; les foyers ne servent qu'à chauffer et non à oxyder; la voûte fort élevée est un véritable magasin de chaleur agissant par réverbération, tandis que l'air, pénétrant au ras des matières, les oxyde et prévient en les refroidissant l'agglomération trop grande et même la fusion des litharges formées. Les gaz chauds en excès peuvent s'échapper par les carneaux ménagés au fond des foyers sans produire aucun courant voisin de la sole. Toutes ces circonstances sont certainement propres à diminuer la perte en métal, et à faciliter la conduite et le succès de l'opération.

ÉTAT PRÉSENT

DE LA MÉTALLURGIE DU FER EN ANGLETERRE.

PAR

M. GRUNER, ingénieur en chef des mines, professeur de métallurgie à l'École impériale des mines,

ET

M. LAN, ingénieur des mines, professeur de métallurgie à l'École des mineurs de Saint-Étienne.

QUATRIÈME PARTIE.

(SUITE) (1).

DEUXIÈME DIVISION DES FERS SPÉCIAUX.

TÔLES DE DIVERSES DIMENSIONS. — FERS NOIRS ET FERS BLANCS. — VERGES DE CLOUTERIE ET DE TRÉFILERIE.

Principales tôleries. — Des trois sortes de produits comprises dans cette division, les tôles forment de beaucoup la plus importante. C'est néanmoins celle dont la fabrication est, encore aujourd'hui, la moins spécialisée. L'emploi, chaque jour plus fréquent, des feuilles de poids et de surfaces croissants tend bien à modifier cette section de l'industrie des forges; mais cette tendance demeure jusqu'ici moins marquée en Angleterre que sur le continent. La plupart des forges à fer marchand du Royaume-Uni (bonne marque ordinaire) continuent à fabriquer également les tôles. Cependant des trois districts, producteurs principaux des barres, Staffordshire, Yorkshire et Écosse, le premier est celui où la fabrication des tôles est à la fois la plus considérable et la plus variée. C'est pour ce motif qu'il sera surtout question ici de ce district.

(1) Voir le commencement de la quatrième partie, 6e série, t. I, p. 115.

Fabriques de fer blanc. — Les fers noirs et fers blancs sont, au contraire, la spécialité à peu près exclusive d'un certain nombre de forges du pays de Galles.

Fabriques de verges. — Enfin les usines à fer marchand des divers districts anglais ne livrent qu'accidentellement les petits ronds nos 4, 5, 6 de la jauge de Birmingham (1). L'élaboration de ces produits fait plutôt la spécialité d'un petit nombre d'établissements situés dans le Staffordshire et dans le Worcestershire, aux environs de Stourbridge.

D'après cela, et pour faire mieux ressortir les particularités de ces trois sortes de fabrication, nous les passerons en revue dans trois sections distinctes.

---

(1) Nous aurons, dans tout ce qui suit, à citer la jauge de Birmingham plus souvent encore que précédemment ; nous croyons donc utile de rapporter ici un tableau des dimensions, avec la traduction en mesures françaises.

NUMÉROS de jauge (*ware-gauge*).	DIMENSIONS		NUMÉROS de jauge (*ware-gauge*).	DIMENSIONS	
	en pouces anglais.	en millimètres.		en pouces anglais.	en millimètres.
0000	0,454	11,35	17	0,058	1,45
000	0,425	10,62	18	0,049	1,22
00	0,380	9,50	19	0,042	1,05
0	0,340	8,50	20	0,035	0,87
1	0,300	7,50	21	0,032	0,80
2	0,284	7,10	22	0,028	0,70
3	0,259	6,47	23	0,025	0,62
4	0,238	5,95	24	0,022	0,55
5	0,220	5,50	25	0.020	0,50
6	0,203	5,07	26	0,018	0,45
7	0,180	4,50	27	0,016	0,40
8	0,165	4,12	28	0,014	0,35
9	0,148	3,70	29	0.013	0,32
10	0,134	3,35	30	0,012	0,30
11	0,120	3,00	31	0,010	0,25
12	0,109	2,72	32	0,009	0.225
13	0,095	2,37	33	0,008	0,200
14	0,083	2,07	34	0,007	0,175
15	0,072	1,80	35	0,005	0,125
16	0,065	1,62	36	0,004	0,100

PREMIÈRE SECTION.

Tôles.

Classification des tôles sur dimensions : dimensions ordinaires. — Les forges anglaises classent d'abord, à peu près comme partout, les tôles suivant les épaisseurs ; elles en distinguent quatre *premières* classes :

1° *Plates* (grosses tôles pour chaudières, ponts, réservoirs, constructions diverses, etc.).

2° *Sheets* (feuilles) comprenant :

1. Les *single*, tôles minces d'épaisseur variant du n° 4 au n° 20 de la jauge de Birmingham.
2. Les *double*, tôles minces d'épaisseur variant du n° 20 au n° 25 de la jauge de Birmingham.
3. Les *treble* ou *lattens*, tôles minces d'épaisseur variant du n° 25 au n° 27 de la jauge de Birmingham.

Limites de poids et surface ; dimensions extra. — Les largeurs des *fers plats* les plus grands que nous ayons cités au chapitre des barres marchandes forment les limites inférieures des dimensions superficielles des tôles. D'autre part, toutes les forges anglaises adoptent une limite supérieure de surface et de poids, c'est-à-dire 24 pieds quarrés (2^{mq},16) pour la surface et 4 quintaux (200 kil.) pour le poids. En dessus de ces poids et surfaces, les prix sont majorés ainsi qu'il sera dit plus loin.

C'est toujours le même ésprit de classification que nous avons observé au chapitre des barres marchandes. Les dimensions des quatre premières classes comprennent la majeure partie des tôles de consommation courante : grâce à l'abondance et à la régularité des commandes, la fabrication en est des plus expéditives ; leurs prix de revient diffèrent

relativement peu de ceux des fers marchands de qualités correspondantes.

Écarts des prix. — Lorsqu'on est habitué aux écarts élevés que présentaient jusqu'ici chez nous les prix courants des tôles et des fers en barres, on a même d'abord quelque peine à concevoir que ces écarts puissent être si réduits en Angleterre. Il faut, pour se l'expliquer, avoir vu par quels moyens simples et économiques se fabriquent ces *échantillons courants* dans les forges de Staffordshire. Mais on y voit, en même temps, les raisons pour lesquelles les prix des dimensions extra sont majorés aussi rapidement, sinon plus que chez nous; ainsi tandis que les tôles anglaises de 200 kil. se vendent à peine de 40 à 50 francs par tonne plus cher que les barres de qualité correspondante, celles de 300 kil. subissent une majoration de prix de 100 à 110 francs, ce qui fait un écart définitif de 140 à 160 francs entre les tôles et les fers marchands. C'est un écart qu'atteignent quelques-unes de nos forges, mais que peu dépassent.

La différence entre les dimensions courantes et les extra est donc plus sensible chez nos voisins que chez nous; cela tient, non pas seulement comme pour les fers marchands, aux soins plus grands de la fabrication, mais pour beaucoup aussi à ce que les forges anglaises sont encore mal outillées pour cette sorte de travail.

Outillage des tôleries. — A l'inverse de ce qu'on observe depuis quelques années déjà en France, en Allemagne et en Belgique, les installations nouvelles, appropriées au travail des tôles pesantes, sont rares en Angleterre; les fabricants anglais sont certainement sous ce rapport en retard sur ceux du continent. On compte aujourd'hui plus d'une forge allemande, belge ou française où la préparation des grandes tôles de plus de 300 kil. et même de tôles pesant jusqu'à une, deux tonnes et plus la pièce, est devenu un travail courant de laminage. Le *laminoir* dit *universel*, les *grands*

laminoirs à releveurs mécaniques, les cages de *cylindres à mouvement alternatif*, enfin *un outillage mécanique puissant* et *organisé jusque dans ses moindres détails* (grues, chariots, chemins de fer intérieurs, etc.) pour la manœuvre économique des paquets énormes en jeu dans ces fabrications, tels sont les moyens par lesquels on a pu aborder au laminoir le soudage et le profilage de masses aussi considérables (1). Par ces moyens aussi, on a réduit les prix de

(1) Par ce qui a été dit au chapitre des rails et des gros fers profilés, on se figurera aisément ce que doit être cet outillage. Sa description complète trouverait difficilement place dans l'étude spéciale des forges anglaises où l'on ne rencontre rien de pareil : quelques indications sommaires suffiront pour marquer la voie où est entrée à cet égard la sidérurgie.

Les grands laminoirs à tôles se distinguent des anciens équipages par l'accroissement de la puissance motrice, en même temps que par de plus grandes longueurs de tables et de plus gros diamètres de cylindres. Des forces motrices de 2 à 400 chevaux pour une ou deux cages; des longueurs de tables de 1m,60 à 2 mètres et 2m,20; des diamètres de cylindres de 0m,60 à 0m,75 et des tourillons de 0m,30 à 0m,40; voilà les données principales de l'établissement de ces puissants appareils.

M. Couche a inséré dans les *Annales des mines* (5e série, tome XVI, page 287) la traduction d'un article du *Berg-und-Hüttenmannische Zeitung* sur un de ces grands laminoirs : le laminoir de *A. Borsig*, établi à *Neustadt*. Ce système, dont on trouvera la représentation *fig.* 2 et 3, Pl. VI du tome XVI, comprend un releveur mécanique à vapeur, qui rappelle ceux décrits précédemment au sujet des rails. Le tablier y est horizontal et à rouleaux, dispositif que l'auteur croit préférable aux tabliers rotatifs, en usage dans quelques grandes forges allemandes. Dans le premier, dit-il, la tôle demeure horizontale, position qui facilite son passage d'un côté à l'autre des cylindres; — dans les seconds, au contraire, la feuille s'élève sur un plan incliné et la manœuvre est pénible et lente. Cela est vrai. Mais les tabliers rotatifs ont cependant l'avantage d'appuyer leur tête sur le cylindre supérieur et d'amener ainsi le bord antérieur de la tôle plus près de la main du preneur placé de l'autre côté des cylindres, plus près que ne le peuvent faire des tabliers horizontaux, mus entre les guides verticaux. Or, avec des cylindres d'un fort diamètre, cette différence entre les deux systèmes n'est point insignifiante. On peut remédier à cet inconvénient en combinant les deux principes, comme on l'a

revient, particulièrement les déchets et la main-d'œuvre, d'une manière déjà importante. Que les frais généraux s'amoindrissent sous l'influence de l'accroissement des demandes et les écarts de prix de ces grandes tôles sur ceux des barres de qualités correspondantes se réduiront de plus en plus.

En Angleterre, la plupart de ces produits nouveaux se

---

fait aux forges de Commentry (Allier); la tête du tablier, guidée par des nervures en arcs de cercle, parallèles à la surface des cylindres, est suspendue par des chaînes à un système de leviers semblable à celui de Seraing, *fig.* 1, 2, 3, Pl. IX; la queue est, au contraire, rattachée par une manivelle à un axe qui lui communique un mouvement vertical parallèle à celui que la tête reçoit des chaînes et leviers. De cette façon, la tôle peut être amenée jusqu'au-dessus du cylindre supérieur; la manœuvre de reprise est incontestablement plus facile.

La pièce la plus neuve de l'outillage des grandes tôleries actuelles est le *laminoir universel.*

Les *fig.* 1, 2, 3, 4, Pl. X, suffisent à montrer en quoi consiste cet appareil; elles représentent le modèle adopté dans l'une de nos forges : c'est du reste la reproduction à peu près fidèle de celui de la forge de Hörde en Westphalie, où le laminoir universel paraît avoir été employé pour la première fois, vers 1854 ou 1855. Il était d'abord destiné au laminage des grands fers plats; mais peu à peu son usage s'est répandu dans les tôleries. Il comprend deux gros cylindres horizontaux A, B, et deux plus petits verticaux C, D, placés du côté de la sortie; il reste ainsi entre les premiers et les seconds un espace rectangulaire formant une véritable cannelure à côtés mobiles.

Les *fig.* 1, 2, 3, 4, indiquent comment, à l'aide d'engrenages plans ou coniques, les quatre cylindres sont mis en mouvement par le même arbre de couche.

Comme conditions principales de l'établissement d'un pareil système, il faut, avant tout, donner assez de longueur aux axes qui transmettent le mouvement aux cylindres, pour être toujours maître d'écarter et de rapprocher ceux-ci dans des limites assez étendues, sans compromettre leur parallélisme. Les mécanismes qui produisent ces déplacements ressemblent d'ailleurs à ceux qu'on applique depuis longtemps aux laminoirs à tôles. Les cylindres verticaux sont unis comme les deux autres; le diamètre de ceux-ci est à peu près double de celui des premiers. Bien que le laminage latéral soit généralement peu considérable, les cylindres verticaux

préparent encore avec l'outillage qui s'applique aux dimensions courantes. Des moteurs insuffisants, des manœuvres pénibles et à bras d'homme, telles sont les causes principales d'aggravation des frais de fabrication. Dans de semblables conditions, on produit peu et lentement, c'est-à-dire avec des déchets et des consommations de houille fort élevés; le travail ne fonctionne qu'à grands renforts

---

doivent avoir, à la circonférence, à peu près la même vitesse que les deux laminoirs horizontaux, ou plutôt la vitesse des premiers doit être un peu supérieure à celle des seconds pour éviter toute tendance au refoulement.

Le laminoir universel peut passer directement certains paquets; mais quand les dimensions deviennent trop considérables, on préfère employer, comme pour les rails, une cage soudante spéciale (blooming) ou même encore le marteau. Il fonctionne généralement à faible vitesse et se prête parfaitement à la marche dans les deux sens, évitant ainsi la nécessité des releveurs mécaniques. Dans ce cas, les cylindres verticaux et horizontaux doivent avoir nécessairement la même vitesse. Outre les avantages déjà signalés précédemment pour les laminoirs alternatifs en général, le changement de marche en comporte un tout particulier au laminoir universel : la feuille passant la première fois successivement aux cylindres horizontaux et aux cylindres verticaux, s'engage inversement, au retour, entre les seconds avant de revenir sous les premiers. En réglant convenablement les pressions verticales et horizontales, on peut trouver dans ces deux passages inverses l'équivalent des passages à plat et de champ : tout au moins est-ce un bon moyen d'atteindre le but principal de ce laminage, c'est-à-dire le parement des faces latérales de la pièce. Le résultat le plus important du laminoir universel est en effet de réduire les rognures latérales, cause de déchets fort considérables, comme on sait.

Jusqu'ici, on n'a pu laminer ainsi que des largeurs de tôles assez réduites : la simple inspection des plans suffit pour en montrer la raison. Mais le principe de la cannelure à côtés mobiles pourrait bien recevoir par la suite des applications nouvelles. Rappelons ce que l'un de nous écrivait à ce sujet en décembre 1859 (tome V du *Bulletin de l'industrie minérale* (Saint-Étienne), page 196): « Peut-« être en combinant ce moyen avec l'application des procédés de « pilonnage et de matriçage, aujourd'hui si perfectionnés, arrive-« rait-on à fabriquer beaucoup de pièces nouvelles en fer ouvré, « dont l'apparition sur les marchés créerait de nouveaux débou-« chés aux forges. »

d'hommes, exigeant 50 ou 60 ouvriers là où 10 ou 12 suffiraient avec des manutentions plus perfectionnées.

Causes de l'infériorité des tôleries anglaises. — La cause principale de cette infériorité des tôleries anglaises est dans le caractère trop exclusivement mercantile de l'industrie du fer en Angleterre (dans le Staffordshire particulièrement), et dans la réaction que ce caractère exerce sur l'organisation des ateliers. Les demandes de ces sortes de produits sont certainement aussi fréquentes en Angleterre que sur le continent; elles ne le sont néanmoins pas encore assez pour que le maître de forges s'y attache comme à l'objet d'un commerce étendu; il n'a point l'idée de construire des ateliers spéciaux pour un produit dont le débouché est encore restreint. En outre, les tôles pesantes sont appliquées à des usages nouveaux et, comme toute consommation qui débute, celle-là veut une fabrication soignée au risque d'un coût élevé. Le maître de forges trouve là une seconde raison pour utiliser, en pareils cas, des installations anciennes bien qu'elles conviennent moins à une fabrication économique. Mais un dernier et plus puissant motif pour qu'il en soit ainsi c'est, il faut bien le dire, le peu d'aptitude du personnel des forges à fer marchand et à tôles pour les innovations de procédés ou de matériel.

Ceux qui reprochent à notre industrie ses tendances au luxe des installations, qui manifestent leur répulsion pour l'art réputé trop coûteux de l'ingénieur, changeraient peut-être d'avis après avoir comparé, au sujet de la fabrication qui nous occupe, certaines de nos forges avec les similaires anglaises. Entre les mains d'ingénieurs ou d'hommes techniques, les puissantes installations qu'exigent ces fabrications s'élèvent, chez nous, avec cet esprit d'ordre et de proportion que donnent quelques études théoriques préalables. Les négociants anglais et leurs contre-maîtres, très-entendus dans la pratique de procédés connus et appliqués depuis longtemps, mais incapables de toute innovation im-

portante par ignorance des premiers éléments théoriques, attendent souvent longtemps des procédés tout faits, tantôt apportés par des inventeurs qu'ils payent fort cher, tantôt simplement copiés chez des industriels plus avancés.

Ajoutons pour terminer et motiver en même temps cette digression, que plus d'une forge française offre le défaut que nous reprochons aux forges anglaises. Les industriels sont nombreux chez nous, qui sont encore trop convaincus de l'opposition de la théorie et de la pratique. Cette idée n'est point seulement inexacte; elle prouve qu'on ne sait point comprendre l'avantage très-réel qu'un enseignement professionnel organisé depuis longtemps nous donne sur nos voisins d'outre-Manche. Cet avantage est d'autant plus important qu'il s'agit de productions où l'influence du coût des matières premières s'amoindrit de plus en plus devant celle des frais proprement dits de fabrication. Les Anglais ne s'y trompent pas, et les efforts qu'ils font depuis quelque temps, pour créer l'enseignement professionnel, est la meilleure preuve de l'importance qu'il faut y attacher.

Classification sur qualités. — Comme tous les autres produits sidérurgiques, les tôles se classent encore pour chaque dimension, en qualités *médiocres* et *ordinaires*, *best* et *best best*; au-dessus de ces quatre marques, on trouve enfin, en Angleterre, les tôles *martelées*, correspondant à nos tôles *fer fort supérieur* ou *forgées.* Une revue rapide des principales applications des tôles suffit pour montrer que les marques *médiocres* et *ordinaires* doivent être les plus répandues.

Grosses tôles ordinaires laminées pour ponts, réservoirs (*bridge and tank-plates*). — S'agit-il de préparer des feuilles pour couvertures de ponts, pour réservoirs, pour gazomètres, etc.? Ces différents usages n'exigent aucun travail de la tôle à chaud; on n'y recherche point non plus une bien grande ténacité; ces tôles n'ont à subir

aucun emboutissage à froid ; quelques rugosités ou pailles superficielles, etc., ont ici fort peu d'inconvénients ; les lignes de soudure enfin n'y sont soumises à aucun effort important. On peut donc, sans danger, appliquer à ces produits un fer puddlé convenablement cinglé, juste assez peu rouverin pour supporter le laminage sans donner trop de rebuts, et d'une ténacité à froid médiocre. On peut également négliger la soudure et, parmi les procédés applicables à la tôlerie, choisir le plus rapide et le plus économique : le laminage sans martelage.

Grosses tôles de chaudronnerie mécanique (boiler plates), *qualité ordinaire*. — Quand les tôles sont destinées à la chaudronnerie mécanique, il est nécessaire de porter son attention sur la plupart des points qu'on négligeait dans le premier cas. Certainement, il est en Angleterre des constructeurs qui emploient pour chaudières des tôles médiocres comme celles dont il vient d'être question ; mais, sans aucun doute, ils n'oseraient garantir une résistance quelconque. D'un autre côté, il arrive souvent encore aujourd'hui que le fabricant, comme le consommateur, recherche la ténacité à froid et à chaud plutôt qu'une bonne soudure. Les défauts de celle-ci ne se manifestant qu'à la longue, par les dédoublements que provoquent l'usure et les coups de feu, ils échappent au consommateur, qui essaye sa chaudière au point de vue exclusif de la résistance à la rupture. Si, comme pour les rails, les consommateurs avaient pu imposer pour les tôles de chaudières des délais de garantie aux fabricants, il est bien certain que pour les unes comme pour les autres, on aurait plus vite apprécié la perfection du soudage.

Grosses tôles (best et best best). — Quoi qu'il en soit, aujourd'hui donc les bonnes tôles de chaudières, comme les marques best et b. best, ne se distinguent assez souvent des produits ordinaires ou médiocres que par plus de soins donnés à la ténacité à chaud et à froid. Un choix plus con-

venable de fontes, un usage plus développé de riblons et de fer ballé ou corroyé dans les paquets, voilà les différences principales qu'on observe dans la fabrication des unes et des autres. Les procédés mécaniques, demeurant à très-peu près les mêmes, le fer des tôles best et b. best est encore ici plus ou moins du *reworked-iron* (voyez au ch. III, section II des barres marchandes).

Tôles martelées.—Lorsque enfin, au lieu de ne viser qu'à la ténacité à froid et à chaud, on recherche en même temps l'homogénéité et la soudure parfaite du produit, on ne se borne plus à un choix meilleur de matières premières : le marteau remplace le laminoir dans le corroyage ou le soudage des paquets (*Lowmoor*).

Classification des tôles moyennes et minces. — Cette classification sur qualités des grosses tôles (*plates*), en tout semblable à celle des fers marchands et des rails, se retrouve aussi exactement dans les tôles des trois autres épaisseurs (*single*, *double* et *lattens*). Ainsi, les *single*, pour *clouterie commune à la mécanique*, destinées à un découpage à froid, ne réclament évidemment ni la même qualité dans les matières premières, ni les mêmes soins dans le soudage, que les tôles minces de même numéro destinées à un emboutissage à froid et à chaud.

La fabrication des *double* et *lattens* pour *tuyaux*, *poêlerie*, etc., sera surtout beaucoup plus négligée que celle des mêmes sortes appliquées à la *casserie*, même à la *casserie commune* qui fait la spécialité des ateliers de Birmingham.

Par les généralités qui précèdent, on voit que les tôles des quatre premières classes de dimensions et de qualité médiocre ou ordinaire forment le principal produit des tôleries anglaises et plus particulièrement des tôleries du Staffordshire : nous consacrerons à cette fabrication notre premier et plus important chapitre. Dans un second, nous passerons rapidement en revue les procédés de travail

pour best, b. best, tôles martelées, etc. Enfin, nous traiterons de la partie économique de l'industrie des tôles dans un troisième et dernier chapitre.

CHAPITRE PREMIER.

FABRICATION DES QUATRE PREMIÈRES CLASSES DE TÔLES, QUALITÉS COMMUNES ET ORDINAIRES.

---

§ 1er. *Matières premières : fontes et fers bruts.*

Les fontes grises nos 3 à 6, marques ordinaires du Staffordshire, sont la principale matière première de cette fabrication : les variétés truitées ou blanches, parfois même de lits de fusion à scories de forge, étant destinées aux tôles de réservoirs, ponts, etc. ; les nos 3 à 4 de minerais houillers fondus au coke, étant réservés pour tôles de chaudières et de construction ou pour tôles minces à emboutir. Quelques forges emploient même des fontes mazées dans ce dernier cas : ce mode de travail est cependant plus particulier à l'Écosse et au Cleveland qu'au Staffordshire. Dans ces deux premiers districts, on maze, pour tôles de chaudières, les fontes nos 1 à 4 en floss lamelleux blanc, qu'on traite ultérieurement comme les fontes brutes, mais le plus souvent sans le mélanger à celles-ci.

En tous cas, un puddlage chaud et en scories donne, avec ces fontes brutes ou mazées, un fer brut qu'on cingle à la presse ou au marteau pour les tôles communes, et généralement au marteau pour les tôles de chaudières : on l'étire sous forme de barres ordinaires pour intérieur de paquets et sous forme de largets pour couvertes.

La préparation de ces couvertes en fer brut n'est pas spéciale à la tôlerie : nous en avons déjà vu des exemples dans la fabrication des fers marchands et des rails. Les loupes destinées à faire ces largets sont martelées avec soin ; chacune d'elles est préparée un peu plus forte que

d'ordinaire, et on en soude deux pareilles au cinglage. Le prisme ainsi préparé est, de la même chaude, passé par trois ou quatre cannelures rectangulaires d'une cage dégrossisseuse spéciale : on obtient là des plats de 9 à 12 ou 14 pouces de largeur et de 1 pouce à 1 pouce 1/2 d'épaisseur, généralement propres, donnant relativement peu de bouts de barres au cisaillage qui précède la mise en trousses pour tôles. Ces bouts de barres ou rognures entrent d'ailleurs eux-mêmes dans les paquets.

L'adjonction d'une troisième cage aux deux de l'équipage dégrossisseur ordinaire pour fer brut est la seule modification d'appareils nécessitée par la préparation de ces grands largets de couvertes.

On prépare par un procédé tout semblable, particulièrement pour les variétés de tôles les plus minces (lattens ou treble), des plats bruts de 4 à 9 pouces de large, qu'on découpe en bidons de longueur voulue, à étirer directement pour tôles.

§ 2. *Modes de paquetage pour les diverses sortes de tôles.*

Paquetage pour plates et pour single. — Pour *plates* et pour *single*, le paquetage est indispensable à cause de leur forte épaisseur. Pour ces deux classes, il se fait, du reste, d'une façon analogue : deux largets de 9, 12 ou 14 pouces, comprenant une hauteur variable de fer brut ou de bouts de barres, voilà le mode ordinaire pour qualités communes. Aux barres ou bouts de fer brut, on substitue des riblons ou rognures de tôles finies, quand il s'agit de marques un peu meilleures : tôles de chaudières, par exemple. Dans les deux cas, on croise les mises, autant que faire se peut, à l'intérieur des paquets.

Dans le Cleveland, on a adopté les principes du paquetage avec couvertures en *slabs*, pour les tôles comme pour les rails, et on paraît s'en trouver parfaitement, comme soudure, dans l'un comme dans l'autre cas.

Paquetage pour double et treble. — Les paquets pour *double* et même pour quelques variétés communes de *treble* se composent à peu près comme pour *plates* et *single*. Pour les sortes plus soignées, on ne paquette plus; on lamine directement des languettes ou bidons en fer corroyé. Quand il s'agit de qualités médiocres ou ordinaires, on paquette aussi longtemps que l'épaisseur et la surface des feuilles le permettent : ainsi, on lamine encore sur paquets les épaisseurs n°s 25 et 26 de la jauge tant que les largeurs n'atteignent pas 28 ou 30 pouces : au delà de cette limite, on recourt aux languettes ou bidons. Les n°s 27 et au-dessus ne se préparent jamais par paquets.

§ 3. *Réchauffage.*

Nous n'avons rien de spécial à dire ni des fours à réchauffer ni du réchauffage. Pour grosses tôles et pour single, le travail de soudage et d'étirage se fait généralement en une seule chaude; les single seuls reçoivent une chaude supplémentaire de recuit.

Les paquets ou languettes pour *double* et *lattens* reçoivent, suivant l'épaisseur, deux ou trois chaudes, y compris celle du recuit. Pour diminuer le déchet d'oxydation, on charge constamment de la houille entre les chenets des fours de recuit. On se sert rarement en Angleterre de fours dormants proprement dits.

§ 4. *Laminage.*

Dimensions des laminoirs à tôle. — Nous avons déjà dit que les laminoirs à tôle n'offrent, en Angleterre, aucun des perfectionnements adoptés ailleurs pour la manœuvre des paquets. Les dimensions des cylindres n'ont également rien que d'ordinaire : 1^{m},50 à 1^{m},60, rarement 1^{m},80 de longueur de table; des diamètres de 0^{m},50 à 0^{m},60 : voilà ce que nous avons généralement observé dans le Staffordshire. Les machines motrices sont peu puissantes : 60 à 80 chevaux sont les limites ordinaires de leur force. La

vitesse des cylindres, même en tôles minces, ne dépasse pas 30 à 40 tours; elle n'est même souvent que de 25 à 30 tours.

Les laminoirs à tôles ordinaires sont à trois cages. — Ce qui fait le trait distinctif des laminoirs à tôles du Staffordshire, c'est qu'ils comprennent à peu près partout, pour les quatre variétés de tôles, trois cages de cylindres :

La *première*, à trois ou quatre cannelures non emboîtantes, rectangulaires ou quarrées, reçoit les paquets chauffés à blanc, comme les *bloomings* des trains à rails; cette cage effectue le soudage des mises.

La *seconde* paire, formée de cylindres unis dégrossisseurs, passe, en général sans réchauffage, la plaque soudée à cinq ou six reprises.

La *troisième*, cylindres unis finisseurs, durs et polis, achève le travail par un nombre de passages proportionné à l'épaisseur de la tôle finie.

La première cage pour blooming. — L'adjonction de cette paire-blooming, à cannelures soudantes, aux deux cages qui, d'ordinaire, composent seules le train de tôlerie, n'a pas que l'avantage de faciliter le laminage en une seule chaude, elle se prête également bien au travail en deux chaudes successives : l'une de soudage, l'autre de profilage, comme dans le cas des rails. Enfin, dans les cas où, pour tôles best, on fait usage de paquets à couvertes en fer corroyé, la cage à cannelures sert à la fois au soudage des paquets à tôle et à la préparation des couvertes ballées.

Ensemble du travail pour : 1° plates et single. — Nous n'avons rien à ajouter sur le laminage des grosses tôles (plates). Pour les *single*, les derniers passages finisseurs se donnent à deux feuilles qu'on obtient ainsi qu'il suit : après le soudage du paquet à la première cage, on coupe le *bloom* par le milieu, à l'aide d'une cisaille placée sur le train même de tôlerie. Chaque moitié passe séparément

à la première cage unie et donne une feuille : les deux pièces arrivent en même temps et superposées à la paire finisseuse. Enfin, après ce laminage, les feuilles séparées sont portées au recuit avant cisaillage. Ce sont là les seules différences entre les tôles épaisses et les moyennes, les seules causes aussi d'un léger écart dés prix de revient des deux sortes. Ajoutons de suite que ces différences sont compensées, en partie du moins, par le fait que s'il faut au travail des grosses tôles, des hommes faits et forts, des enfants ou de jeunes garçons suffisent à l'élaboration des *single*.

2° *Tôles minces.* — Pour les tôles minces, la première cage (blooming) ne sert pas toujours; en général seulement dans les cas de paquetage. Elle sert aussi quand, pour tôles minces de qualité déjà supérieure, on soude et corroie le paquet avec plus de soins, ou quand, d'une première chaude, on le transforme en un larget de fer corroyé, à étirer ultérieurement pour tôles.

Si, au contraire, on fait usage de largets bruts, on en réchauffe et lamine un certain nombre d'une première chaude. On les réduit par sept ou huit passages aux deux cages unies, à une épaisseur convenable, pour qu'à la seconde chaude les feuilles *doublées*, *quadruplées*, etc., puissent prendre aux cylindres finisseurs leur épaisseur définitive.

Les quelques exemples que nous rapporterons ci-dessous achèveront la description de ces procédés de laminage.

§ 5. *Cisaillage des tôles et manutentions diverses.*

Le cisaillage et les manutentions diverses des tôles finies se font par des outils et moyens qui n'offrent généralement rien de neuf. Dans quelques forges seulement, nous avons vu des cisailles puissantes, pouvant rogner les tôles sur toute une longueur de $1^{m},50$ à 3 mètres ou sur des largeurs de $0^{m},80$ à $1^{m},20$; le couteau mobile d'une pareille cisaille est porté par deux excentriques, calés sur un même arbre

que met en mouvement une machine spéciale. Le tranchant du couteau mobile est légèrement incliné et s'abaisse verticalement, guidé par deux rainures, lorsque celui du couteau fixe est horizontal.

§ 6. *Exemples de roulements pour tôles de premières classes et qualités ordinaires.*

Fabrication de tôles de chaudières communes. — (Boiler-plates.)

Le fer brut employé provenait de fontes au coke nos 3 à 5, sans addition de scories au haut fourneau.

Dimensions des feuilles et des paquets. — Pour tôles cisaillées de 6 pieds ($1^m,80$) de long; 3 pieds ($0^m,90$) de large; sur une épaisseur de $0^m,009$, pesant 112 kil. environ la feuille, le paquet avait 12 pouces ($0^m,30$) de large, 6 à 7 de haut et 20 pouces de long; soit un poids brut de 140 kilogrammes environ.

Consistance et personnel de l'atelier. — L'atelier comprenait deux fours à réchauffer et trois cages de laminoirs, disposées ainsi qu'il a été dit plus haut.

Le personnel était composé de : 1 chef lamineur entrepreneur; 1 réchauffeur et 1 aide; 2 aides lamineurs et 2 releveurs; 2 ou 3 jeunes garçons de 15 à 16 ans pour tirer les plaques. Ce personnel recevait tout à pied d'œuvre, ne faisant ni cisaillage, ni aucune autre manutention accessoire.

Travail. — On soudait et finissait d'une seule chaude; on passait le paquet dans le sens de sa longueur, à trois cannelures soudantes; le bloom soudé recevait ensuite quatre passages dans le sens de la largeur, à la cage dégrossisseuse; trois autres enfin, parallèlement à la largeur du paquet primitif, étaient donnés à la cage finisseuse.

Produits et consommations. — On produisait dans ces conditions 7 à 8 tonnes de tôles par douze heures avec une consommation de 14 à 15 quintaux de 120 livres de houille par tonne, c'est-à-dire 80 à 85 p. 100, et un déchet de 5 à 6 quintaux par 20 quintaux de tôle finie, soit 20 à 22

p. 100 du fer brut en paquets (perte au feu et rognures).

Main-d'œuvre. — Le réchauffage et le laminage, à l'entreprise, coûtaient 8 sh. 7 d. par 2.400 livres de tôle cisaillée : le chef lamineur recevait, en outre, 10 sh. pour chaque changement de cylindres, et 5 sh. pour le tournage de la cage finisseuse. Le cisaillage et le paquetage, également à l'entreprise, se payaient le premier 2 sh. 8 d. et le second 1 sh.

Tôles de ponts (Bridge-plates).

Pour feuilles cisaillées de 8 pieds (2^m,40) de long; 2 pieds (0^m,60) de large et un demi-pouce d'épaisseur, (0^m,012), c'est-à-dire un poids fini de 127 kil. le paquet, en fer brut commun, avait 20 pouces de longueur, 10 pouces de largeur et 8 de hauteur; soit un poids brut de 345 livres (155 kil.). Ce paquet, réchauffé, était d'une seule chaude, passé successivement à la cage dégrossisseuse et à la cage finisseuse, sans soudage aux cannelures rectangulaires. Un personnel comprenant: 1 maître lamineur et 1 aide, 1 releveur et 1 aide; 1 ou 2 gamins pour tirer les plaques, desservait les deux cages.

Tôles à moulures et tôles ondulées (Chequered-plates et Corrugated).

Travail pour tôles à moulures. — Les forges de Staffordshire préparent assez souvent cette variété de tôles pour couvertures ou planchers de magasins, d'entrepôts, de ponts de navire, etc., etc. Le soudage et le laminage s'exécutent à très-peu près dans les mêmes conditions que pour *Boiler* et *Bridge-plates.* On se sert du même paquet qui a été indiqué au premier exemple; on choisit seulement un fer un peu mou, susceptible de prendre aisément l'empreinte du dessin en relief de la cage finisseuse. Cette cage, qui fait suite aux trois dont se compose l'équipage à tôle proprement dit, consiste en deux cylindres unis de 1^m,50 à 1^m,60 de longueur de table et de 0^m,50 à 0^m,60 de diamètre.

Coulés en fonte dure, tenace et parfaitement polie, ces deux cylindres portent en relief le dessin qu'on veut imprimer sur la tôle. Celle-ci ne passe naturellement qu'une fois entre les cylindres et cela, immédiatement à la sortie de la cage finisseuse du train de tôlerie. La faible chaleur que la tôle retient à ce moment rend le travail assez difficile ; les traits du relief s'altèrent rapidement ; c'est surtout par les frais de gravure ou de ciselure des cylindres que se motive l'écart de prix qu'on observe entre ces produits et les tôles ordinaires de mêmes dimensions et qualités.

Travail pour tôles ondulées. — Une autre variété de tôle ouvragée, destinée aux toitures métalliques et dont on fait grand usage en Angleterre, c'est la *tôle ondulée* (*corrugated-plate*). L'ondulation dans le sens perpendiculaire à la longueur de la feuille, s'obtient à l'aide d'une paire de cylindres dont la surface présente des dents ou arêtes saillantes arrondies, parallèles à l'axe et régnant sur toute la longueur de la table. La feuille de tôle, froide ou encore légèrement rouge, est introduite entre ces deux cylindres dentelés ; un seul passage suffit pour donner à la tôle le nombre d'ondulations voulu. C'est une opération analogue à celle dont il vient d'être question, mais beaucoup plus simple et moins coûteuse.

Fabrication de single n° 12 de la jauge de Birmingham : single communes pour clouterie mécanique (dimensions moyennes de 6 pieds (1^{m},50) de long sur 2 de large).

Matière première. — Cette sorte de single se fabrique par grandes quantités pour les ateliers de Birmingham. Les matières premières sont du fer brut commun de fontes truitées ou blanches (n°s 4, 5, 6), à l'air chaud et à la houille seule ou mélangée de coke.

Paquets. — Les paquets ont une section de 7 pouces de large sur 4 de haut et une longueur de 12 pouces (0^{m},30) ; leur poids brut est de 70 livres (31^{k},50) ; ils comprennent deux *largets couvertes* de 3/4 de pouce d'épaisseur, entre

lesquels on dispose les bouts provenant du cisaillage de ces mêmes largets bruts.

Matériel et personnel. — Un matériel de 3 fours, dont un de recuit à feu nu et trois cages de laminoirs, est desservi par un personnel de 2 chauffeurs et 1 aide; 1 chef lamineur, 1 aide et 2 releveurs, 4 gamins pour traîner les tôles. Le paquetage et le cisaillage occupent 5 ou 6 hommes.

Travail. — On charge sur la sole de chaque four dix-neuf ou vingt paquets à la fois, les dimensions principales du four étant :

Sôle : { longueur. . . . . 7 pieds 6 pouces.
largeur au milieu. . . 6 pieds 6 pouces. }

Grille : 3 pieds 3 pouces sur 3 pieds 9 pouces.

Le paquet, amené au blanc, passe à plat dans les trois cannelures de la cage soudante, qui le doublent de longueur sans altérer sa largeur. Le bloom est alors coupé par le milieu et affranchi des deux bouts par une cisaille accolée à cette première cage.

Chaque moitié de bloom reçoit cinq ou six passages à la dégrossisseuse unie, qui lui donnent à peu près la largeur définitive de la tôle. Chaque feuille est laminée quatre fois dans le sens de sa longueur à la finisseuse; à partir de ce moment on passe les deux feuilles réunies trois ou quatre autres fois. Elles sortent de là presque froides; on les recuit immédiatement sur la sole d'un four qui a 18 pieds de long sur 7 de large et une grille de 4 pieds 6 pouces en quarré.

Produits et consommations. — Avec le matériel et le personnel sus-indiqués, on fait par douze heures de 5 à 6 tonnes (de 2 400 livres) de *single*, avec une consommation de 13 à 14 quintaux de houille au réchauffage et de 5 à 6 au recuit. Le déchet sur le fer brut est de 24 à 25 p. 100, dont 2/3 environ se retrouvent en rognures et rebuts.

Main-d'œuvre. — La main-d'œuvre de chauffage, laminage et cisaillage coûte 13 sh. 6 d. par tonne de 2 400 liv.;

le paquetage 1 sh. 6 d. En sus de ces prix, le chef lamineur est payé à part, comme plus haut, pour les changements de cylindres et pour leur tournage. Quand, pour les *single plus soignées*, on lamine des bidons corroyés et non des paquets bruts, le chauffage, le cisaillage et le laminage ne se payent que 11 sh. 9 d.

Fabrication de single de bonne qualité moyenne de 1/8 pouce à 1 pouce d'épaisseur.

Les paquets, en fer brut martelé et laminé, de fontes grises au coke n°s 3 et 4, ont une section de 8 à 10 pouces sur 6 et une longueur de 12.

Matériel : un four à réchauffer et un à recuire ; trois cages dont une, soudante, à cannelures.

Personnel : 1 chef lamineur entrepreneur et 1 aide ; 1 releveur et 1 aide ; 1 seul réchauffeur.

Production. — Produit par douze heures : 4 tonnes de 2400 liv.

Fabrication des sheets ou double du n° 20 au n° 24 de la jauge.

Le paquet, composé de trois ou quatre largets bruts simplement superposés, était soudé par la première cage à cannelures qui doublait ou triplait sa longueur. Coupé en deux comme dans les cas précédents, il donnait deux moitiés qu'on laminait d'abord isolément, puis ensemble à la cage finisseuse. Lorsque le fer devenait trop froid, on assemblait les feuilles quatre à quatre au four de recuit et, de cette seconde chaude, on les passait ensemble à la finisseuse. Enfin on donnait encore une dernière chaude de recuit avant de cisailler.

Avec deux fours : un de réchauffage et un de recuit, avec un personnel de : 1 chauffeur et 1 aide ; 1 maître lamineur et 1 aide, 2 ou 3 gamins traîneurs, cet atelier produisait 2 tonnes à 2^{t},20 de tôles, n° 24 WG, par jour de douze heures.

Fabrication de Lattens n° 27 de la jauge.

Dimensions et poids des feuilles et des bidons. — Les échantillons que nous avons vu fabriquer avaient une surface de 54 pouces (1^m,35) de long, sur 28 pouces (0^m,70) de large et pesaient de 5 1/2 à 6 liv. soit 2 1/2 à 3 kil. par feuille.

Pour cette largeur et cette épaisseur on ne travaillait plus en paquets, mais en bidons; le larget en fer brut, martelé et laminé, dans lequel se découpaient les bidons avait 4 pouces de large et 1/2 à 3/4 de pouce d'épaisseur. On cisaillait sur fragments de 1 pied 6 pouces de longueur et pesant 4 kil. environ.

Matériel et personnel. — Le matériel comprenait un seul four à réchauffer; un four à recuire à feu nu; trois cages de laminoirs, la première ne servant qu'en cas de travail par paquets.

Le personnel était de: 1 lamineur et 1 aide, 1 releveur et 1 aide, 1 seul réchauffeur.

Travail. — Le bidon amené au rouge passait d'abord isolément à la cage dégrossisseuse et une ou deux fois à la finisseuse. De la même chaude on passait par deux feuilles à la finisseuse jusqu'à ce que le fer fût au rouge sombre. Amenées alors aux dimensions superficielles de 0^m,80 sur 1^m,20 environ, les feuilles étaient réunies quatre à quatre et chauffées jusqu'au rouge cerise dans le four à recuire. Enfin, après le laminage qui suit cette seconde chaude, on chargeait huit feuilles ensemble au dernier recuit.

Produits et consommations. — On produisait 2 tonnes à 2 tonnes 1/2 de 2400 liv. par 12 heures; on consommait 1 tonne 1/4 de houille par tonne de tôle cisaillée et 5 à 6 quintaux de fer par 20 quintaux de produit cisaillé; sur ce déchet de 5 à 6 quintaux, il en rentrait environ 4 en rognures et riblons divers, dans la fabrication.

Le chauffage, le laminage et le cisaillage étaient donnés

à l'entreprise, au taux de 21 sh. 6 d. par 2 400 liv. de produits finis. En cas de travail en paquets, l'entrepreneur recevait 1 sh. 9 d. de plus par 2 400 liv.

§ 7. *Observations sur les résultats qui précèdent et sur la qualité des produits obtenus.*

Différence entre les fers en barres et les tôles. — En comparant les produits et consommations dont il vient d'être question pour les *plates* et les *single* avec ceux rapportés au sujet des fers marchands, on peut prévoir, ainsi que nous l'annoncions plus haut, que les prix de revient des uns et des autres ne différeront réellement pas beaucoup. Certainement la main-d'œuvre, les déchets et la consommation de houille sont un peu plus considérables pour les tôles que pour les barres ; mais si la matière première, la fonte ou le fer brut, reste la même dans les deux cas, les résultats définitifs de la fabrication se rapprochent singulièrement Grâce à la production élevée par jour de travail à un four, les frais généraux eux-mêmes ne sont point pour les tôles, grosses et moyennes, notablement supérieurs à ce qu'ils sont pour les barres du commerce.

Si l'on considère que c'est, en définitive, le même procédé qui s'applique aux fers marchands et aux tôles dont il s'agit, on ne s'étonnera pas de la similitude des résultats économiques. Mais pour une même nature de matières premières, les tôles ainsi obtenues seront-elles comparables en qualité aux barres correspondantes ? Il nous paraît évident que non.

Les tôles laminées du Staffordshire présenteront d'abord le vice que nous avons reconnu aux fers marchands de même marque : *l'aigreur à froid.* En outre, les défauts de soudure y seront certainement plus sensibles que dans les simples barres ; il faut bien rappeler, en effet, que les difficultés du sondage au laminoir croissent avec les dimensions des paquets. Dans le cas particulier des tôles, l'énorme éti-

rage que reçoit le fer n'est point du tout l'indice d'une soudure parfaite. Au contraire, ce travail, *en une seule chaude*, de feuilles pesant 100—150 et 200 kil. nous semble peu favorable à cette perfection, malgré la nature généralement soudante des fers de ce district, malgré aussi l'emploi d'une sorte de blooming (cage à cannelures rectangulaires).

Tout cela s'applique aux grosses et moyennes tôles. Mais même dans le cas des tôles minces, les déchets et consommations sont encore relativement faibles et les productions journalières fort élevées. Quant à la qualité, les mêmes défauts à froid sont à craindre; mais en raison des dimensions plus réduites des paquets, la soudure est peut-être meilleure. Observons encore, au sujet de ces tôles minces, que le fer *brut* du Staffordshire s'étire sans criques sur des épaisseurs réellement minimes et à des températures qui souvent ne dépassent pas le rouge sombre vers la fin du laminage. C'est un fait qui vient à l'appui de ce que nous avons dit ailleurs de la qualité à chaud des fers de ce district.

CHAPITRE II.

FABRICATION DES TÔLES DE QUALITÉS ET DIMENSIONS EXTRA.

Fabrication des qualités extra. — Devant revenir sur la fabrication des tôles minces de qualités supérieures au sujet des fers noirs et blancs, nous nous bornerons, dans ce chapitre, à ce qui concerne les grosses tôles.

Best et best best laminés. — Nous n'ajouterons rien à ce qui a été dit déjà des variétés de best et best best pour lesquelles le seul moyen d'amélioration consiste dans le choix des matières premières, notamment dans la substitution intégrale ou partielle du fer déjà corroyé au fer brut. Rappelons seulement que ces variétés sont fréquentes encore en Angleterre et qu'ainsi les *sortes exclusivement laminées* y composent la majeure partie des tôles.

Best et best best martelées. — Il s'agit donc particulièrement ici des fabrications où le martelage s'applique sur une plus ou moins grande échelle.

La préparation des plaques martelées en fer brut, plus rarement en fer corroyé; l'assemblage au marteau de ces plaques en une ou plusieurs chaudes, voilà les deux termes de la formule de travail pour tôles de choix, de chaudronnerie mécanique, par exemple. En principe, c'est le procédé encore aujourd'hui le plus répandu dans nos forges; les *plaques* anglaises sont l'équivalent de nos *brames*.

Parmi les usines du Royaume-Uni qui suivent ce procédé, il en est qui l'appliquent, avec tous les soins qu'il comporte, à des fers bruts de qualité supérieure. D'autres, au contraire, avec des matières premières moins choisies, ne le suivent que partiellement.

La forge de Lowmoor marche encore en tête des premières; les *stamps* provenant du cinglage des loupes au marteau ne sont plus ici brisés et triés comme dans le cas de fers en barres. On les assemble en paquets qu'on soude très-soigneusement au marteau frontal pour *plateaux* de 3 à 4 pouces d'épaisseur au plus. Selon le poids des tôles, le nombre des chaudes de martelage varie; mais on ne donne jamais qu'une chaude au laminoir, celle du finissage. C'est par ce moyen et par l'emploi exclusif de fin métal blanc lamelleux de fontes grises à l'air froid et au coke, que Lowmoor prépare des tôles de chaudières, cotées en Angleterre aux mêmes prix que les tôles *forgées* de fontes au bois, en France.

Dans la plupart des autres forges anglaises, on n'applique souvent du procédé que la partie mécanique, et encore incomplétement. On martèle tantôt les loupes, doublées ou triplées au cinglage, tantôt des paquets simplement composés de puddled bars ordinaires, pour plaques de finissage. Mais les fers proviennent de fontes grises au coke

ou à la houille et à l'air chaud. C'est ainsi que quelques forges d'Écosse, du Cleveland et du Staffordshire obtiennent des tôles moins chères, il est vrai, mais aussi moins estimées que celles de Lowmoor. Les tôles martelées avant laminage, que certaines usines à fer blanc du pays de Galles préparent avec des fontes grises à l'air froid, seraient les seules comparables aux produits de Lowmoor.

Fabrication des dimensions extra. — Dans ce que nous venons de dire, nous avons uniquement considéré les extra de qualités; nous n'avons que quelques mots à ajouter au sujet des tôles de grandes dimensions.

Emploi simultané du marteau et du laminoir. — La section des paquets qu'exigent ces tôles extra s'oppose à l'emploi exclusif du laminoir, surtout avec des laminoirs de petites dimensions, sans releveurs mécaniques, mus par des machines insuffisantes, comme c'est encore le cas dans la plupart des forges anglaises.

Il faut donc, comme pour les qualités supérieures, recourir au martelage en plaques ou en brames, c'est-à-dire qu'au lieu d'un travail expéditif et économique, il faut des chaudes multipliées et coûteuses, une fabrication lente et chère.

Tôles de blindage. — Lorsque les dimensions et poids des tôles sont considérables comme dans *les blindages* de la construction maritime, la préparation au marteau occupe une telle place dans le procédé que l'économie du finissage au laminoir n'a plus qu'une très-faible influence sur le prix de revient définitif. L'écart entre les prix des blindages laminés et des blindages exclusivement martelés est, par suite, bien inférieur à ce qu'on pourrait supposer *à priori.*

Tôles de blindage martelées. — D'après cela, ce ne serait peut être pas absolument par la supériorité de qualité qu'on devrait s'expliquer comment jusqu'aujourd'hui la fabrication au marteau a pu se maintenir parallèlement à la fabrication au laminoir. Au reste, les progrès que cette

dernière a récemment faits chez nous font, dès maintenant, prévoir qu'ici encore le laminoir prendra bientôt le pas sur le marteau. Une circonstance particulière hâtera peut-être cette substitution du premier au second ; le travail au marteau, par sa lenteur, se prête mal à l'activité de production que réclament les débouchés ouverts jusqu'ici aux blindages. Lorsqu'il s'agit de cuirasser promptement un certain nombre de navires, le consommateur aime mieux compter par mois avec des laminoirs bien montés que par années avec le marteau.

Quoi qu'il en soit de l'avenir, la fabrication des blindages au marteau était encore, lors de notre voyage, la plus répandue en Angleterre : on affirmait même que le gouvernement anglais ne consommait que des blindages martelés, les quelques laminés fabriqués dans le Royaume-Uni étant destinés à des États étrangers.

Exemple de Thames-Works. — Rapportons, pour terminer sur ce sujet, quelques renseignements que nous avons recueillis dans l'atelier de construction maritime de *Thames-Works*, près de Londres.

Les vieux bandages de *Lowmoor* et *Bowling* étaient la matière première de la fabrication : c'est, on le sait déjà, un fer fort et dur. Le boudin préalablement enlevé à la cisaille, les bandages étaient coupés par tronçons, qu'un dressage à froid transformait en barres de 30 à 40 centimètres. On les mettait en trousses que, d'une chaude suante, on martelait pour *plaques* ou *stamps*.

A l'extrémité d'un long ringard (l'ancien *gouvert* des forges), on soudait au pilon plusieurs de ces plaques l'une sur l'autre, de façon à composer une pièce à peu près quarrée, ayant l'épaisseur du blindage. On formait ensuite la longueur de celui-ci, en assemblant successivement et bout à bout un nombre suffisant de stamps terminés en biseau, c'est-à-dire par un misage analogue à celui qui se pratique dans les travaux de forgerie ordinaire : le marteau

et la forge à bras y étaient seulement remplacés par le pilon et par le four à réchauffer.

On préparait ainsi, le jour de notre visite, des plaques ayant, après l'affranchissement à la machine à planer : 16 pieds ($4^m,80$) de long sur 3 pieds ($0^m,90$) de large et 4 pouces 1/4 ($0^m,106$) d'épaisseur : chacune de ces plaques, pesant 3 tonnes à 3 tonnes 1/2, exigeait deux à trois jours de chaudes et martelages avant d'être prête à l'affranchissement.

Exemple de Sheffield. — Le même procédé était, nous a-t-on dit, appliqué à *Manchester* et aux environs de *Newcastle.* A *Sheffield*, au contraire, on laminait des blindages sur un train de tôlerie ordinaire : c'est particulièrement à cet exemple de fabrication des grandes tôles que nous faisions allusion précédemment, lorsque nous signalions les défauts d'outillage des tôleries anglaises. Non-seulement les nombreux laminages, par lesquels on fabriquait successivement les plaques élémentaires du paquet définitif, étaient très-coûteux, mais l'atelier était, en outre, encombré d'ouvriers : le laminage marchait très-lentement et très-irrégulièrement.

CHAPITRE III.

PARTIE ÉCONOMIQUE DE LA FABRICATION DES TÔLES.

Le Staffordshire est le marché régulateur des tôles anglaises. — Nous avons estimé en bloc, à la section économique des fers marchands, la production totale du Royaume-Uni en tôles. On peut admettre qu'elle se répartit, entre les différents districts, à peu près comme la production des barres marchandes. Mais le Stafforshire demeure toujours la contrée où se prépare surtout la véritable tôle de commerce, dont nous allons d'abord rapporter les prix de revient.

1. *Prix de revient des quatre premières classes de tôles laminées.*

	GROSSES TÔLES (PLATES).	TÔLES MOYENNES (SINGLE)	TÔLES MINCES double.	TÔLES MINCES lattens.
	t. l. sh. d. l. sh. d.	t. l. sh. l. sh. d.	t. l. sh. l. sh. d.	
Fer brut puddlé.	0,95 à 5.13.9.=5. 8. 0.7/10	1,30 à 5.15.=7.10.6.	1,30 à 5,19.=7.14. 8. 4/10	. . . .
Fer martelé et doublé.	0,40 à 5.19.0.=2. 7. 7.2/10			t. l. sh. l. sh. d.
Fer corroyé ou battu.	. . . .	. . . .	. . . .	1,30 à 6.2. = 7.18. 6.
Houille	0,83 à 8.00.0.=0. 6. 7.7/10	1,00 =0. 8. 0.	1,10 =0. 8. 9. 6/10	1,25 = 0.10. 0.
Main-d'œuvre.	. . . . =0.15. 0.	. . . . . . =0.15. 0.	. . . . . . =0.20. 0.	. . . . . . = 0.24. 0.
Entretien, frais généraux et divers.	. . . . =0.12. 0.	. . . . . . =0.14. 0.	. . . . . . =0.16. 0.	. . . . . . = 0.18. 0.
Revient spécial des 2.400 liv. . . .	. . . . =9. 9. 3.6/10	. . . . . . =9. 7. 6.	. . . . . . =9.19. 6.	. . . . . . =10.10. 6.
Loyer d'usine.	. . . . =0. 1. 1.	. . . . . . =0. 1. 1.	. . . . . . =0. 1. 1.	. . . . . . = 0. 1. 1.
Intérêt du fonds de roulement. .	. . . . =0. 3. 9.	. . . . . . =0. 3. 9.	. . . . . . =0. 4. 0.	. . . . . . = 0. 4. 2.9/10
Total par 2.400 liv.	. . . . =9.14. 1.6/10	. . . . . =9.12. 4.	. . . . . =10. 4. 7.	. . . . . . =10.15. 9.9/10
A défalquer : rognures et rebuts.	0,212 à 5. 0. =1. 4. 2.4/10	0,20 à 5 00.=1. 0. 0.	0,18 à 4,0= 0.14. 4. 8/10	0,20 à 4.0. = 0.16. 0.
Revient des 2.400 liv. en forge. .	. . . . =8. 9.11.2/10	. . . . . . =8.12. 4.	. . . . . = 9.10. 2. 2/10	. . . . . . = 9.19. 9.9/10
Revient des 2 240 liv. en forge. .	. . . . =7.18. 1.2/10	. . . . . . =8. 0. 3.24/100	. . . . . = 8.16.10.44/100	. . . . . . = 9. 5.10.
Transport à Liverpool.	. . . . =0.10. 0.	. . . . . =0.10. 0.	. . . . . = 0.10. 0.	. . . . . . = 0.10. 0.
Revient au port des 1.015 kil. . .	. . . . =8. 8. 1.2/10	. . . . . . =8.10. 3.24/100	. . . . . = 9. 6.10.44/100	. . . . . . = 9.15.10.
Soit par 1.000 kil., en francs, au port d'embarquement.	206f,66	211f,37	231f,97	242f,692

et la forge à bras y étaient seulement remplacés par le pilon et par le four à réchauffer.

On préparait ainsi, le jour de notre visite, des plaques ayant, après l'affranchissement à la machine à planer: 16 pieds (4^m,80) de long sur 3 pieds (0^m,90) de large et 4 pouces 1/4 (0^m,106) d'épaisseur: chacune de ces plaques, pesant 3 tonnes à 3 tonnes 1/2, exigeait deux à trois jours de chaudes et martelages avant d'être prête à l'affranchissement.

Exemple de Sheffield. — Le même procédé était, nous a-t-on dit, appliqué à *Manchester* et aux environs de *Newcastle*. A *Sheffield*, au contraire, on laminait des blindages sur un train de tôlerie ordinaire : c'est particulièrement à cet exemple de fabrication des grandes tôles que nous faisions allusion précédemment, lorsque nous signalions les défauts d'outillage des tôleries anglaises. Non-seulement les nombreux laminages, par lesquels on fabriquait successivement les plaques élémentaires du paquet définitif, étaient très-coûteux, mais l'atelier était, en outre, encombré d'ouvriers : le laminage marchait très-lentement et très-irrégulièrement.

CHAPITRE III.

PARTIE ÉCONOMIQUE DE LA FABRICATION DES TÔLES.

Le Staffordshire est le marché régulateur des tôles anglaises. — Nous avons estimé en bloc, à la section économique des fers marchands, la production totale du Royaume-Uni en tôles. On peut admettre qu'elle se répartit, entre les différents districts, à peu près comme la production des barres marchandes. Mais le Stafforshire demeure toujours la contrée où se prépare surtout la véritable tôle de commerce, dont nous allons d'abord rapporter les prix de revient.

1. *Prix de revient des quatre premières classes de tôles laminées.*

	GROSSES TÔLES (PLATES).	TÔLES MOYENNES (SINGLE)	TÔLES MINCES double.	TÔLES MINCES lattens.
	t. l. sh. d. l. sh. d.	t. l. sh. l. sh. d.	t. l. sh. l. sh. d.	t. l. sh. l. sh. d.
Fer brut puddlé.	0,95 à 5.13.9.=5. 8. 0.7/10	1,30 à 5.15.=7.10.6.	1,30 à 5,19.=7.14. 8. 4/10	. . . .
Fer martelé et doublé.	0,40 à 5.19.0.=2. 7. 7.2/10			
Fer corroyé ou battu.	. . . .	. . . .	. . . .	1,30 à 6.2. = 7.18. 6.
Houille	0,83 à 8.00.0.=0. 6. 7.7/10	1,00 =0. 8. 0.	1,10 =0. 8. 9. 6/10	1,25 = 0.10. 0.
Main-d'œuvre.	. . . . =0.15. 0.	. . . . . . =0.15. 0.	. . . . . . =0.20. 0.	. . . . . . = 0.24. 0.
Entretien, frais généraux et divers.	. . . . =0.12. 0.	. . . . . . =0.14. 0.	. . . . . . =0.16. 0.	. . . . . . = 0.18. 0.
Revient spécial des 2.400 liv. . . .	. . . . =9. 9. 3.6/10	. . . . . . =9. 7. 6.	. . . . . . =9.19. 6.	. . . . . . =10.10. 6.
Loyer d'usine.	. . . . =0. 1. 1.	. . . . . . =0. 1. 1.	. . . . . . =0. 1. 1.	. . . . . . = 0. 1. 1.
Intérêt du fonds de roulement. .	. . . . =0. 3. 9.	. . . . . . =0. 3. 9.	. . . . . . =0. 4. 0.	. . . . . . = 0. 4. 2.9/10
Total par 2.400 liv.	. . . . =9.14. 1.6/10	. . . . . =9.12. 4.	. . . . . =10. 4. 7.	. . . . . . =10.15. 9.9/10
A défalquer : rognures et rebuts.	0,212 à 5. 0. =1. 4. 2.4/10	0,20 à 5 00.=1. 0. 0.	0,18 à 4,0= 0.14. 4. 8/10	0,20 à 4.0. = 0.16. 0.
Revient des 2.400 liv. en forge. .	. . . . =8. 9.11.2/10	. . . . . . =8.12. 4.	. . . . . = 9.10. 2. 2/10	. . . . . . = 9.19. 9.9/10
Revient des 2 240 liv. en forge. .	. . . . =7.18. 1.2/10	. . . . . . =8. 0. 3.24/100	. . . . . = 8.16.10.44/100	. . . . . . = 9. 5.10.
Transport à Liverpool.	. . . . . . =0.10. 0.	. . . . . =0.10. 0.	. . . . . = 0.10. 0.	. . . . . . = 0.10. 0.
Revient au port des 1.015 kil. . .	. . . . =8. 8. 1.2/10	. . . . . . =8.10. 3.24/100	. . . . . = 9. 6.10.44/100	. . . . . . = 9.15.10.
Soit par 1.000 kil., en francs, au port d'embarquement.	206f,66	211f,37	231f,97	242f,692

Ainsi que l'indiquent les prix de la fonte et du fer brut, et les proportions de fers puddlé et ballé, les chiffres du tableau précédent se rapportent évidemment à des qualités ordinaires. Les tôles dont il s'agit ne sont cependant pas encore les plus communes qui se fabriquent dans le Staffordshire. Citons, en particulier, le coût des *single*, tout à fait inférieurs : *nail-sheets*, pour les clouteries mécaniques de Birmingham (*cut-nails manufacture*).

Tôles pour clouterie. — Le fer brut, en largets martelés pour couvertes, provient de fontes truitées ou blanches, de lits de fusion à scories de forge, et ne coûte pas plus de 5 liv. 5 sh. à 5 liv. 10 sh. Les rognures et les puddled bars, pour intérieurs de paquets, sont encore moins choisis et moins chers, coûtant 5 liv. à 5 liv. 5 sh. Dans ces conditions, il est aisé de voir que le coût définitif des 2.240 liv. de singles rendus à Birmingham ne dépassera pas 7 liv. 10 sh. à 7 liv. 12 sh.

§ 2. *Prix de revient des meilleures marques du Staffordshire. — Tôles de chaudières (boiler-plates). Variétés best et b. best.*

Exemples de best et best-best laminés. — Les sortes communes, dont il vient d'être parlé, font très-certainement une large part de la production du Staffordshire; mais les mêmes forges où nous avons vu soigner les barres marchandes produisent aussi de meilleures qualités de tôles. C'est particulièrement dans celles-là que se préparent les bonnes tôles de chaudières. Voici le prix de revient de cette variété tel qu'on nous l'a communiqué dans une des forges les plus réputées pour la qualité :

	liv.	sh.	d.	
Fer puddlé de fonte grise, martelé et laminé : 1t,42 à 6 liv. 10 sh.	9.	4.	7.	2/10
Houille, 0t,90 à 8 sh. 6 d.	0.	7.	7.	8/10
Main-d'œuvre	0.	15.	6.	0
Frais généraux et divers	0.	7.	3.	0
Total par 2.400 liv.	10.	14.	11.	0
A déduire, rognures et rebuts, 0,24 à 6 liv.	1.	8.	9.	6/10
Revient spécial des 2.400 liv.	9.	4.	1.	4/10

Si à ce prix on ajoute 10 à 12 sh. comme frais d'intérêts et de loyer d'usine sur le fer puddlé et sur le produit fini, on arrive à un prix définitif de 9 liv. 15 sh. à 9 liv. 16 sh. par 2.400 liv. de boiler-plates, soit 9 liv. 10 sh. à 9 liv. 12 sh. les 1.015 kil. ou 226 à 228 fr. les 1.000 kil. rendus à Liverpool.

Ces prix seraient ceux des qualités *best* d'un grand nombre de forges, en tant que ces qualités ne diffèrent des marques ordinaires que par un emploi plus développé du fer corroyé dans les paquets. En ce cas, le premier élément des comptes de revient, le coût de la matière première, est à peu près le seul, en effet, qui s'élève. On établirait aisément aussi les prix des *best-best* préparées par les mêmes moyens ; mais arrêtons-nous plutôt sur les conditions économiques des tôles à paquets martelés avant le laminage.

§ 3. ***Prix de revient des tôles martelées avant laminage, provenant de bonnes fontes grises ou de riblons, bouts de barres (scraps), etc.***

Les chiffres qui suivent sont extraits de la comptabilité d'une forge galloise spécialement vouée à cette sorte de fabrication. Tous les paquets pour tôles n'étaient peut-être point martelés avant le laminage ; mais la majeure partie subissait ce mode de corroyage.

Nous rapportons les prix en bloc tels qu'ils étaient établis sur les livres pour la fabrication entière ; mais celle-ci

comprenait, à très-peu près, parties égales de grosses tôles (*boiler-plates* surtout) et de moyennes ou minces.

Les tôles de chaudières avaient généralement 6 à 8 pieds (1^{m},80 à 2^{m},40) de longueur, 3 pieds à 3 pieds 1/2 (0^{m},90 à 1^{m},05) de largeur et 10 à 12 millimètres d'épaisseur.

Les tôles moyennes ou minces avaient 4 à 6 pieds de longueur et 2 à 3 de largeur sur des épaisseurs variant du n° 14 au n° 28 de la jauge de Birmingham.

Enfin, les prix dont il s'agit ne comprennent aucun intérêt de capitaux, aucun bénéfice ni sur le produit fini ni sur les matières premières ou intermédiaires, sauf sur une très-petite portion de la fonte consommée que l'usine achetait au dehors.

Prix du fer puddlé par tonne de 2.400 liv.

	liv.	sh.	d.
0^{t},140 fonte à l'air froid à 4 liv. 4 sh.	0.	11.	9. 12/100
0^{t},600 fonte à l'air chaud à 3 liv. 4 sh.	1.	18.	4. 80/100
0^{t},304 fonte achetée au dehors à 3 liv. 14 sh. . .	1.	2.	5. 4/100
0^{t},110 vieux moulages, rognures, etc., à 6 liv.	0.	13.	2. 40/100
1^{t},154 (23^{q},08).	4.	5.	9. 36/100
1^{t},80 (36 quintaux) de houille pour fours et chaudières à 5 sh. 7 d.	0.	10.	0. 60/100
Main-d'œuvre.	0.	19.	0. 0
Entretien des fours, frais divers et généraux, défalcation faite des vieux moulages, scories, etc.	0.	9.	10. 40/000
Total.	6.	4.	8. 36/100

Prix de revient des couvertes ballées. Largets en bouts de barres et rognures, martelés et laminés sur 9 pouces de large (0^{m},225) et 3/4 pouce (0^{m},019).

	liv.	sh.	d.
23^{q},50 (1^{t},175) de rognures diverses.	5.	17.	6.
32 quintaux (1^{t},60) de houille (fours et chaudières)	0.	8.	9.
Main-d'œuvre	0.	17.	0.
Frais divers et généraux.	0.	9.	0.
Total par 2 400 liv.	7.	12.	3.

Prix de revient de largets en puddled bars, simplement laminés, de 6 pouces (0^{m},15) de largeur et 1/2 pouce (0^{m},0125) d'épaisseur.

	liv.	sh.	d.	
23^{q},75 (1^{t},187) de *puddled bars* à 6 liv. 4 sh. 8 d. 36/100.	7.	8.	0.	12/100
32 quintaux (1^{t},60), houille (fours et chaudières).	0.	8.	9.	0.
Main-d'œuvre.	0.	8.	0.	0.
Frais divers et généraux.	0.	8.	0.	0.
Total par 2.400 liv.	8.	12.	9.	12/100

Prix de revient des tôles finies (toutes sortes réunies).

	liv.	sh.	d.
28 quintaux (1^{t},40) (fer brut, couverte, etc.), au prix moyen de 7 liv. 10 sh.	10.	10.	0.
37 quintaux (1^{t},85), houille.	0.	10.	2.
Main-d'œuvre.	0.	24.	0.
Frais divers et généraux.	0.	16.	0.
Total par 2.400 liv.	13.	0.	2.
A déduire : 0^{t},25 de rognures, scories, vieux moulages, etc.	1.	10.	0.
Revient spécial des 2.400 liv.	11.	10.	2.
Revient de la tonne des 1.015 kil. . . .	10.	14.	9.

Si l'on voulait rendre ce prix comparable à ceux dont il a été question précédemment, il faudrait y ajouter au moins 25 à 30 sh. pour loyers d'usines, intérêts de capitaux (mines, fonderies et forges) : on arriverait ainsi à un chiffre total de 12 liv. en nombres ronds. A ce taux, les grosses tôles (tôles de chaudières) reviendraient à 10 ou 11 liv., et les moyennes ou minces à 12 ou 13 liv., la tonne de 1.015 kil. en forge.

L'exemple que nous venons de rapporter, de tôles partiellement fabriquées au marteau, suffit déjà à montrer que les prix de Lowmoor, où l'on use beaucoup plus encore de cet outil, doivent s'élever notablement au-dessus des précédents. L'emploi exclusif de fontes au coke et à l'air froid, mazées, est une autre cause d'aggravation des frais de

cette dernière forge. Les chiffres que nous rapporterons plus loin sur le corroyage au marteau, dans la préparation des fers noirs de fontes au coke et à l'air froid, mazées, achèveront de rendre compte des différences du revient des tôles supérieures avec les tôles communes ou ordinaires du Staffordshire.

§ 4. *Variations des prix de revient des tôles.*

Tous les prix de revient qui précèdent se rapportent spécialement aux années 1859 et 1860. Nous n'avons point de renseignements sur ceux des années antérieures; mais ils varient évidemment par les mêmes causes que les prix de barres marchandes.

Le seul terme de comparaison que nous puissions citer est le prix rapporté pour la marque common-best par les auteurs du *Voyage métallurgique* (1) : il est non-seulement supérieur à ceux que nous avons trouvés (§ 1) pour les tôles du commerce laminées, mais encore à celui des meilleures marques de tôles de chaudières dans le Staffordshire (§ 2). Celles-ci ne reviennent, en forge, y compris les loyer et intérêt de capitaux, qu'à 9 liv. environ, tandis que, sans y faire figurer aucuns frais de cette sorte, les auteurs du *Voyage métallurgique* établissent le prix de 9 liv. 5 sh. 3 d. La raison principale de cette différence est dans la substitution du laminoir au marteau : les *common-boiler-plates*, cités dans le *Voyage métallurgique*, étaient fabriquées à l'aide de plaques évidemment martelées de 18 pouces de longueur sur 10 pouces de largeur et 2 d'épaisseur. Celles dont il est question au § 2 sont, au contraire, obtenues avec des paquets en fer brut, immédiatement laminés d'une seule chaude.

---

(1) Tome II, page 120, 2e édition. Paris, 1839.

§ 5. *Débouchés et prix de vente des tôles anglaises; bénéfices des maîtres de forges.*

Commerce des tôles du Staffordshire. — Les tôles d'échantillons courants sont, dans le Staffordshire, l'objet d'un commerce analogue à celui des barres marchandes. Ce que nous avons dit précédemment du mode de vente, des débouchés extérieurs ou intérieurs des fers en barres, s'applique à cette première variété de tôles. L'élaboration secondaire dans les ateliers de serrurerie, de quincaillerie, de *casserie* et de *clouterie mécanique* de Birmingham a été, ici aussi, un moyen d'agrandir les débouchés des forges du Staffordshire.

Les prix des tôles courantes sont soumis à toutes les fluctuations que nous avons observées au chapitre des fers marchands. Le tableau des cours comparés, inséré dans la troisième partie de notre travail, s'appliquerait donc aux tôles comme aux fers, sauf à tenir compte de l'*écart* que nous indiquerons tout à l'heure entre les prix de ces deux sortes de produits.

Dans quelques-unes des forges du *Stafforshire*, mais plus particulièrement dans le *pays de Galles*, en *Écosse*, dans le *Yorkshire* et le *Derbyshire*, les tôleries répondent à une consommation moins variée : elles alimentent surtout la chaudronnerie mécanique et les ateliers de construction de terre ou de mer. Objets d'un commerce moins étendu et d'une fabrication généralement plus soignée, leurs produits sont soumis à de moindres fluctuations de prix : les cotes officielles du marché sont pour eux plus souvent nominales que réelles. C'est sous ces réserves qu'il convient de comparer les prix de revient donnés précédemment avec les prix courants que nous allons rapporter.

Bénéfices des fabricants. — Certainement les maîtres de forges qui fabriquent les tôles de chaudronnerie et de construction parviennent à un bénéfice un peu plus élevé que celui réalisé sur les tôles de commerce proprement

dites. Il n'en résulte néanmoins pas un produit net bien considérable, quand les cours généraux du marché se tiennent à des taux comme ceux de 1859-60. En rapprochant les chiffres du tableau suivant des prix de revient que nous venons de rapporter, on voit que, sauf pour les qualités tout à fait supérieures, le bénéfice par 1.015 kil. ne dépasse certainement pas 10 à 15 sh., si même il ne tombe entre 0 et 10 sh.

TABLEAU DES PRIX COURANTS DES TÔLES ANGLAISES PAR TONNE DE 1.015 KILOG., EN 1859 ET 1860, AVEC LES ÉCARTS ENTRE LES PRIX DES TÔLES ET FERS DE PREMIÈRE CLASSE, A PEU PRÈS CORRESPONDANTS EN QUALITÉ.

I. *Marques ordinaires de 1re classe* (*tôles du commerce*).

Districts.	Grosses tôles.	Single.	Double.	Lattens.	Fers de 1re cl.
	l. s. à l. sh.	liv.	l. sh.	l.	l. sh. à l. sh.
Staffordshire....	8. 10 à 9. 0.	8 à 9 (*)	10. 10.	12.	7. 00 à 7. 10.
Cleveland.....	8. 10 à 9. 0.	»	»	»	6. 10 à 7. 00.
Écosse.......	8. 5 à 9. 5.	»	»	»	7. 7 à 7. 10.

(*) On vendait même 7 liv. 15 sh. la tonne de single communes de clouterie mécanique rendue à Birmingham, pendant les mois de mai et juin 1860. C'est à peu près le prix de revient (voyez à la fin du § 1 de ce chapitre).

II. *Marques best et best-best* (*tôles sur commandes*).

Districts.	Tôles de chaudières.	Single.	Double.	Lattens.	Fers.
	l. sh. à l.	l. sh. à l.	l. sh. à l. sh.	l. à l.	l.sh. à l. sh.
Staffordshire.	9. 10 à 12	9. 10 à 12.	10. 10 à 13. 10	12 à 15.	8.00 à 10. 10.
Cleveland...	10.00 à 11	»	» »	»	7.10

III. *Dimensions et poids extras.*

Surface de 24 pieds quarrés.	De 4 à 5 qx. (200 à 250 k.)	De 5 à 6 qx.	De 6 à 6 1/2.	De 6 1/2 à 7 qx. (325 à 350 k.)
Majoration des prix....	1 liv.	2 l. 10 s.	3 l. 10 s.	4 l. 10 s.

Comme accroissement de surface, les tôles de 15 pieds de long sur 4 de large sont soumises à un écart de 2 liv. en sus des prix précédents. Enfin, les feuilles coupées sur profils imposés par le consommateur sont chargées d'une prime de 1 l. 10 sh., toutes autres dimensions donnant lieu à des prix particuliers débattus lors des commandes.

IV. *Qualités supérieures : Lowmoor, Bowling, Weardale, etc.*

	Au-dessus de 2 qx. 1/2.	De 2 1/2 à 3.	Au-dessus de 5 qx. (250 k.)
Tôles de chaudières de Lowmoor..	22 liv.	23 liv.	37 liv.

Tôles de chaudières de Weardale.. 21 liv. pour feuilles au-dessous de 3 qx. (150 k.). Majoration de 20 sh. par chaque demi quintal en sus.

V. Les blindages de 3 à 3 l. 1/2, fabriqués au marteau à l'usine de *Thames-Works* se vendaient 35 liv. les 1.015 kil., simplement affranchis, mais ni cintrés, ni percés, soit 870 à 880 fr. les 1.000 kil.

Observations. — On remarquera que l'écart de prix entre les tôles et fers correspondants n'est que de 30 sh. dans le Staffordshire et en Écosse, tandis qu'il atteint 40 sh. dans le Cleveland. Les fers de ce dernier district, moins bons que ceux des deux autres, obligent à employer plus de fer corroyé dans la tôlerie, et élèvent ainsi le prix de revient de celle-ci.

DEUXIÈME SECTION.

Fers noirs et fers blancs.

Introduction. — La plupart des usines à fers blancs livrent en même temps, sous le nom de fers noirs, des tôles minces, destinées, entre autres, aux fabriques de boutons à la mécanique. Dans la fabrication même du fer blanc, la préparation des largets pour fers noirs proprement dits est le travail capital, celui dont dépend à peu près exclusivement la qualité des produits définitifs, celui dont nous nous occuperons plus spécialement; l'étamage composant une seconde partie de cette fabrication beaucoup moins importante que la première.

Aperçu historique. — Quelques mots d'historique sur les procédés successivemeut appliquês à cette industrie, en Angleterre, offriront peut-être un certain intérêt à nos producteurs de fers blancs. Ce sera d'ailleurs un exemple de plus des effets que peut produire sur la qualité la recherche exclusive du bon marché (1).

Première période, 1670 *à* 1807. — C'est au commencement du siècle dernier que, sous l'influence évidente du voisinage des mines d'étain du Cornouailles, le pays de Galles s'est approprié l'industrie des fers blancs. Dès 1670, les Anglais demandaient à la Saxe ses procédés d'étamage et ses ouvriers; mais ce n'est qu'en 1720 qu'ils parvinrent à fabriquer régulièrement. C'est à cette date que remonte la création de *Pontypool*, l'une des plus importantes fabriques de fer blanc encore aujourd'hui.

En 1728 on substituait, au platinage par marteau, le la-

(1) Nous avons extrait les principaux éléments de cet aperçu historique d'une notice publiée par M. Ebenezer Rogers dans les *Transactions of the South Wales Institute of Engineers*, 1er volume Merthyr-Tydvil, 1859.

minage aux cylindres unis : le procédé de fabrication des fers noirs se constituait pour ne plus changer jusqu'en 1807 : un foyer d'affinage allemand au charbon de bois; un feu de maréchal à la houille pour le réchauffage des lopins; un marteau pour le cinglage de la loupe; des martinets pour l'étirage en largets; enfin, des laminoirs unis pour feuilles à étamer : tel était l'ensemble d'une usine à fer blanc de cette époque.

On y fabriquait sur une très-petite échelle : une charge de 1 quintal 1/2 de fonte donnait, au foyer allemand, une loupe de 1 quintal 1/4 (62 kil.), qu'on martelait sur 2 pieds de long et 5 pouces d'épaisseur. Après un réchauffage au feu maréchal, le martinet étirait pour barre de 3 à 4 pouces de large et de 1/2 pouce d'épaisseur. C'est à cet état que le fer était livré sous le nom de *charcoal tin-bars* aux laminoirs d'étamerie, au prix de 21 liv. la tonne.

Deuxième période, de 1807 à 1845.—En 1807, le succès définitif de la *houille* et du *laminoir* dans la fabrication du fer en barres (procédés Cort et Parnell) réagit sur les usines à fer blanc. On fait à Pontypool même un premier pas dans la voie d'abaissement du prix de revient par l'accroissement de la production.

Une mazerie au coke reçoit une charge de 3 quintaux (150 kil.) de fonte, et le fin métal est affiné dans un foyer allemand plus grand que les anciens. Plus tard, on relia la mazerie au foyer d'affinage, de façon à faire couler directement le floss mazé de la première dans le second.

Dès qu'il était malléable, le fer était réduit au marteau en stamps de 1 pouce d'épaisseur : on cassait ces stamps en pièces de 84 liv. environ (38 kil.), on les empilait sur une barre plate en fer martiné, munie d'un manche de 4 pieds environ de longueur (*staff* ou *gouvert*). Le réchauffage de ces trousses eût été long et dispendieux dans le feu du maréchal : on y appliqua les chaufferies au coke à vent soufflé, qui sont décrites dans le *Voyage métallurgique* sous

le nom gallois de *hollow-fire*, et dans *Karsten*, sous le nom de *fagotted-furnaces* (1) : ce sont les mêmes qu'on applique en Angleterre, et sur le continent, dans les ateliers de corroyage de l'acier.

La trousse était donc corroyée pour *slabs* de 6 pouces de large et 3/4 pouce d'épaisseur. On laminait ces slabs en barres de 6 pouces de large sur 1/2 pouce, qu'on livrait aux étameries sous le nom de *charcoal tin-bars* ou de *hollow-fire-iron*.

C'est le même procédé que les auteurs du *Voyage métallurgique* ont vu appliquer vers 1830 (2) : ils rapportent que les barres, de 4 pouces de largeur sur 2 d'épaisseur et 3 pieds de longueur, se vendaient alors 14 liv. la tonne, ce qui indiquerait une réduction de prix déjà très-notable.

Troisième période, de 1845 *à* 1860. — L'application plus développée du laminoir devait produire, peu de temps après, de nouvelles économies. En 1845, on ne fit plus qu'une loupe au foyer d'affinage : elle était cinglée au marteau et passée au laminoir dégrossisseur pour *bloom* de 2 pieds 6 pouces de longueur et d'une section quarrée de 6 pouces de côté. On sciait ce bloom en trois fragments, et chaque fragment était laminé pour *billet* de 6 pouces de large, 2 pouces 1/2 d'épaisseur et 12 pouces de longueur. Enfin, après un réchauffage dans un petit four à réverbère, on laminait pour *tin-bar* de 1/4 pouce d'épaisseur et de 11 pouces de large, prêt à l'étirage pour feuille d'étamage.

Ce dernier procédé n'est point encore appliqué partout aux *charcoal tin-bars* : dans les usines les plus réputées pour la qualité, on n'étire pas directement au laminoir le fer de

---

(1) *Voyage métallurgique*, tome II, page 10. — Karsten, 2e édition (Metz, 1830), pages 222 et 223, traduction française de M. Culmann.

(2) 2e volume, pages 6 et suivantes.

loupe pour larget de tôlerie fine. On y a adopté un procédé intermédiaire entre la fabrication au laminoir et celle au marteau.

On a été, au contraire, beaucoup plus loin dans d'autres établissements, notamment dans quelques-uns des plus considérables du pays de Galles. Ne se bornant pas à y substituer presque absolument le laminoir au marteau, on y a remplacé l'affinage au charbon de bois des floss mazés de bonnes fontes par le puddlage direct de fontes brutes, quelquefois médiocres. Ou bien, quand on a conservé le premier mode d'affinage, on a mélangé au charbon de bois une dose plus ou moins élevée de coke. C'est ainsi qu'on produit aujourd'hui les *coke tin-bars* ou les *charcoal* de qualité inférieure.

Encore ici c'est avec le commerce d'exportation pour l'Amérique que, depuis vingt ou vingt-cinq ans, ces sortes inférieures se sont développées au point de prédominer de beaucoup aujourd'hui dans la production totale des fers blancs anglais.

L'un des fabricants les plus considérables du pays de Galles ne disait peut être pas le dernier mot des tendances de l'industrie anglaise quand, devant le conseil supérieur du commerce, il expliquait les différences entre les prix des fers blancs anglais et français (1) :

« En France, disait-il, la fabrication du fer blanc est ce « qu'elle était en Angleterre, il y a vingt ans. Comme on « l'a dit, je fais plus de fer blanc qu'on n'en fabrique dans « la France entière. La France a besoin d'une plus grande « production et d'une plus grande consommation. Nous « sommes arrivés à diminuer nos prix, *en fabriquant beau-* « *coup, en faisant beaucoup de progrès.* »

M. Budd aurait du ajouter : le progrès consistant sur-

---

(1) *Enquête relative au traité de commerce*, déposition de M. Palmer Budd, tome I, page 548.

tout à donner le pas aux qualités inférieures sur les bonnes marques que réclamait l'ancienne consommation.

Introduction des fers noirs en acier puddlé. — Terminons cet aperçu historique sur les procédés de travail appliqués aux fers noirs, par un mot sur une fabrication qui s'est tout récemment introduite dans cette industrie, celle des fers noirs en acier puddlé. Sous la condition d'un bon choix de fontes et d'un corroyage ultérieur soigné, ces produits semblent pouvoir rivaliser dans une certaine mesure avec les qualités au *charcoal*, tout en coûtant moins cher ; il y aurait donc là un progrès réel.

La seconde partie de la fabrication des fers blancs a éprouvé également quelques modifications depuis l'introduction de cette industrie en Angleterre. On y avait, déjà vers la fin du siècle dernier, substitué, dans le décapage des feuilles, l'acide sulfurique, à l'acide chlorhydrique et à tous les autres ingrédients comme résines, son fermenté, etc., autrefois en usage. Le recuit en vase clos ne date, au contraire, que de 1829. Enfin les procédés d'étamage proprement dit sont restés les mêmes que ceux décrits par M. S. Parkes dans les éditions de Karsten de 1824 et 1830. La seule innovation postérieure à cette époque est la préparation des *fers blancs ternes.*

Classification des fers noirs et fers blancs. — En résumé, les fers noirs et les fers blancs se classent, d'abord, par rapport aux modes de préparation des largets de tôlerie, en quatre variétés principales :

1° Les fers noirs et blancs, au *charcoal* (charbon de bois), première qualité ;

2° Les fers noirs, deuxième qualité ;

3° Les fers noirs au coke (ordinaire, best et best best) ;

4° Les fers noirs en acier puddlé ;

Selon le mode d'étamage, chacune de ces quatre variétés peut se préparer *en brillant* ou *en terne ;* enfin la classification sur dimensions est assez variée, comme on le verra

plus loin. Mais les procédés de fabrication diffèrent, en définitive, assez peu, qu'il s'agisse d'une dimension ou d'une autre, qu'il s'agisse même de l'étâmage en brillant ou en terne.

Nous attachant donc à la classification des fers noirs sur qualités, nous passerons rapidement en revue la partie technique de la fabrication dans un premier chapitre, où nous insisterons seulement sur les modifications introduites depuis le *Voyage métallurgique*. Un second chapitre sera consacré aux conditions économiques de cette fabrication, conditions peu connues chez nous, si l'on en juge par les diverses dépositions de l'enquête relative au traité de commerce.

CHAPITRE PREMIER.

(Partie technique.)

---

§ 1. *Fabrication des largets de tôlerie.*

Largets au charcoal (première qualité.)

Les fontes réservées pour la première qualité des largets charcoal sont les fontes nos 3 et 6 au coke et à l'air froid, provenant de la fusion d'un mélange d'hématite et minerai houiller (marques *Bleanavon*, *Pontypool*, *Gadlys*, etc.). Certains fabricants estiment au moins autant les fontes grises du Cumberland et du Lancashire (hématite pure) (1).

Ensemble de la fabrication. — L'ensemble de la fabrication comprend:

1° Le mazéage des fontes;

2° L'affinage au charbon de bois;

3° Le cinglage au marteau et le laminage pour largets bruts;

---

(1) Les usines à fers blancs du Staffordshire et du Worcestershire emploient aussi des fontes à l'air froid du Shropshire provenant d'un mélange de minerai houiller et d'hématite.

4° Le réchauffage, le corroyage au marteau et le laminage pour largets de tôlerie.

Deux ateliers distincts. — Le matériel nécessaire à cette fabrication se divise en deux ateliers : l'un, où se font les trois premières manipulations ; l'autre, la dernière.

Le premier se compose, selon l'importance des usines, de deux à quatre, rarement six foyers d'affinage au charbon de bois, reliés deux par deux à de petites mazeries au coke. Un marteau frontal, parfois un pilon, et une cage dégrossisseuse à cannelures rectangulaires complètent l'outillage.

Le second atelier comprend de trois à cinq ou six chaufferies au coke (*hollow-fire* ou *fagotted-furnaces*) ; deux ou trois marteaux frontaux, une cage de laminoirs à cannelures rectangulaires finisseuses.

Atelier d'affinage proprement dit. — Les mazeries, dites *running-out fire* à cause de la coulée directe du floss mazé aux foyers d'affinage (*finery*) placés un peu en contre-bas, ont 2 *pieds* 9 *pouces de long*, 2 *pieds de large* et 12 pouces de profondeur. Deux tuyères sont placées sur l'un des longs côtés et inclinées de 12 ou 15° sur l'horizontale.

Les foyers d'affinage ont une section horizontale à très-peu près quarrée (2 pieds 6 pouces sur 2 pieds 4 pouces), une profondeur de 6 pouces, une seule tuyère inclinée de 8 à 10°.

Résumé du travail pour largets bruts. — Nous avons déjà dit (première section de la troisième partie de ce mémoire) en quoi consiste le travail de mazéage et d'affinage ; la fonte, mazée d'une façon continue, est coulée toutes les heures à peu près, par portions de 200 à 220 livres (90 à 100 kil.), dans chacun des foyers au charbon de bois. Dans ceux-ci, l'affinage du floss mazé est mené très-activement ; une loupe en sort toutes les heures, grossie par addition de riblons ou rognures de tôle vers la fin du travail.

Cette loupe est martelée pendant quelques minutes et

réduite à l'état de prisme plat qu'on passe de suite, ou après un demi-réchauffage, par trois ou quatre cannelures de la cage à largets bruts, pour barres plates de différentes largeurs et de 1 pouce à 1 pouce 1/2 d'épaisseur. On a conservé à ces largets le nom de *charcoal-stamps* qu'on appliquait spécialement autrefois aux plaques de 12 pouces sur 12 de surface et de 1 pouce 1/2 d'épaisseur, provenant du martelage exclusif des loupes brutes. Ce dernier mode de travail est devenu de plus en plus rare dans les étameries galloises.

Largets bruts de riblons (*scraps iron*). — Enfin on donne encore le nom de *charcoal-stamps* aux largets martelés et laminés qu'on obtient dans presque toutes les usines, en réchauffant au petit foyer d'affinage au charbon de bois, des rognures de tôles minces ou de feuilles à étamer. C'est un travail qui succède souvent à l'affinage même de la fonte dans les petits foyers, surtout vers la fin d'une journée. Il est également très-rapide ; en trois quarts d'heure ou une heure on fait ainsi une loupe analogue aux précédentes et qu'on traite de la même manière au marteau et au laminoir.

Produits et consommations. — Le service de la mazerie est fait par un seul homme auquel toutes les matières sont amenées à pied d'œuvre. Chacun des deux foyers au charbon de bois occupe un seul affineur. Avec ce personnel et ce matériel on fait 2 tonnes de 2.400 livres de largets bruts par douze heures, les trois ouvriers recevant ensemble 10 à 11 sh. par tonne. Le martelage et le laminage coûtent 2 à 3 sh., quelquefois 4 pour qualités supérieures, le complément au chiffre de 17 sh., que nous rapportons plus loin pour main-d'œuvre totale, étant composé par les frais de manutentions diverses.

Quant aux déchets et consommations, on les trouvera dans les prix de revient détaillés du chapitre suivant.

Atelier de corroyage et laminage pour largets finis. — L'atelier de finissage des largets de tôlerie reçoit les *char-*

coal-stamps, cisaillés sur 1 pied de longueur. On les y assemble en trousses de 100 à 120 livres comprenant 3 ou 4 fragments et présentant ainsi un volume de 5 à 7 pouces de haut, 12 de long et 6 de large.

Renvoyant à ce que les auteurs du *Voyage métallurgique* et *Karsten* disent des fours et même du travail de réchauffage et corroyage de ces trousses (1), rappelons seulement qu'on leur donne jusqu'à trois chaudes pleines, suivies d'autant de martelages au frontal. Après le dernier martelage, le bloom est étiré de la même chaude pour largets finis de 6 pouces de largeur et 1/2 pouce d'épaisseur. Cisaillés sur une longueur correspondante aux dimensions des fers noirs à préparer (12 pouces, dimension moyenne), ils sont prêts au laminage en feuilles.

Laissant encore ici les déchets et consommations pour le chapitre des prix de revient, disons seulement qu'indépendamment du personnel ordinaire de laminage et martelage, il faut un ouvrier spécial à chaque *chaufferie*. Le travail est presque continu et les chaudes extrêmement rapides, grâce à la petite sole de chauffage préalable; par douze heures et par foyer, on produit $0^t,80$ à $0^t,85$, c'est-à-dire, presque autant que dans les foyers d'affinage. Aussi verrons-nous, aux prix de revient, les chiffres définitifs de main-d'œuvre à peu près égaux à l'atelier d'affinage et à l'atelier de corroyage.

On aura déjà remarqué combien la fabrication des largets charcoal rappelle les procédés de Lowmoor. Mêmes soins dans le choix des matières premières, peut-être cependant un peu moins grands ici que dans le Yorkshire; ici encore application exclusive du marteau au soudage des trousses. Ce mode de travail, joint à l'emploi du foyer

(1) *Voyage métallurgique*, tome II, page 10, et *fig.* 4, 5 et 6, Pl. I; — Karsten, 2e édition, pages 222 et 223 (traduction française), *fig.* 6, 7, 8, 9, Pl. VIII.

d'affinage au charbon de bois et des chaufferies à courant d'air forcé, suffit à faire comprendre les excellents résultats qu'on obtient avec les largets ainsi préparés. Si, avec cela, dans le laminage pour feuilles à étamer, on surveille de près l'entretien des cylindres, coulés en bonne fonte dure et serrée, on aura forcément des fers noirs très-bien soudés; leurs surfaces seront nettes et propres, conditions essentielles de la qualité des fers-blancs. On arrive ainsi, en un mot, à des produits dont nos fabricants de fers-blancs au combustible végétal ont pu dire, lors de l'enquête : « La première qualité des fers-blancs anglais ré« pond parfaitement aux exigences de la fabrication des « objets les plus finis (1). » Par contre, il nous semble y avoir quelque peu d'exagération à prétendre que *les fers-blancs anglais dit coke-iron sont égaux à nos bonnes qualités* (2) ; on pensera peut-être autrement après ce que nous dirons bientôt de cette variété.

Largets au charcoal (deuxième qualité).

Choix de fontes. — C'est surtout par le choix des fontes que cette variété diffère de la précédente. Aux fontes à l'air froid, on substitue des fontes à l'air chaud provenant des mêmes lits de fusion, et, par suite très-probablement plus siliceuses et plus phosphoreuses, c'est-à-dire convenant moins à cette fabrication spéciale. On corrige ces défauts, partiellement du moins, en les mélangeant avec des fontes à l'air chaud du Lancashire (fonte d'hématite) ou avec des fontes grises de même allure de *la forêt de Dean*.

On applique, du reste, à ces mélanges un procédé en tout semblable à celui décrit au paragraphe précédent. Les

(1) 1er volume de l'*Enquête relative au traité de commerce*, déposition de M. Debladis, page 529.

(2) *Ibidem*, même page.

usines les plus réputées pour la qualité fabriquent ainsi jusqu'à la moitié de leur production totale en largets *au charcoal.*

Passage des charcoal-iron au coke-iron. — D'autres établissements, et des plus considérables, ne se bornent point à l'emploi de fontes moins choisies; ils affinent au bas foyer avec un mélange de *coke* et *de charbon de bois*, souvent avec moitié de l'un et moitié de l'autre combustible, des fontes à l'air chaud et à l'anthracite, provenant de lits de fusion où le minerai houiller (*blackband* ou *clayband*) est associé à des proportions variables d'hématite du Cumberland. En outre l'usage du marteau y est beaucoup plus réduit que dans les cas précédents. Aussi les qualités obtenues forment-elles le passage des *charcoal* aux *coke-iron* qui se fabriquent par grandes quantités dans les mêmes établissements.

Largets au coke (ordinaires, best et best-best).

Choix de fontes. — Les fontes grises à l'air chaud, de minerai houiller mélangé ou non d'hématite, du district anthraciteux de *Yniscedwin*, *Ystalifera*, etc., font la principale matière première de cette fabrication, au moins dans les étameries du pays de Galles. Les quelques usines du Staffordshire qui se livrent à cette fabrication y appliquent les fontes grises au coke et à l'air chaud du *Shropshire.* Enfin, on mélange aux fontes précédentes des fontes grises du Lancashire pour les meilleures sortes de coke-bars.

Ensemble de la fabrication. — L'ensemble de la fabrication comprend :

1° Le puddlage des fontes brutes ou mazées, ou d'un mélange des deux;

2° Le réchauffage au réverbère, le corroyage et le profilage au laminoir, en deux chaudes.

Sur la première partie du procédé (puddlage et ma

zéage), nous n'avons rien à ajouter après les détails que nous avons déjà donnés à ce sujet, lorsqu'il a été question des fers marchands du *Staffordshire, de l'Écosse*, etc. : on soigne plus ou moins le cinglage des loupes au marteau, selon les qualités définitives qu'on désire obtenir.

L'atelier de corroyage et laminage pour largets de tôlerie se compose généralement d'un certain nombre de réverbères de première et de deuxième chaudes, et de deux cages de cylindres : l'une, à cannelures quarrées, faisant fonction de cage soudante ou blooming; l'autre, à cannelures rectangulaires finisseuses.

Traits principaux de cette fabrication. — Ce simple énoncé de la composition du matériel de finissage montre que la fabrication emprunte les moyens de corroyage que nous avons vu précédemment appliquer aux rails. Elle rappelle également celle des tôles laminées du Staffordshire avec ses trois cages de laminoirs, dont la première, cylindres soudants, à cannelures rectangulaires ou quarrées.

La composition des paquets est par conséquent ici encore le point d'où dépend surtout la qualité définitive des produits.

Exemple de paquetage. — Citons un exemple de paquetage pour largets au coke ordinaires, que nous avons relevé dans un des établissements dont il est question plus haut.

Entre deux couvertes ballées de 7/8 pouce ($0^m,022$) d'épaisseur étaient cinq assises de barres brutes : le tout formant un paquet de 5 pouces à 6 pouces 1/2 ($0^m,15$ à $0^m,17$) de haut, 8 pouces 1/2 ($0^m,21$) de large, 2 pieds 2 pouces ($0^m,65$) de long, et un poids brut de 250 à 300 liv.

Avec une proportion plus élevée de fer ballé, mieux encore avec du fer ballé de bonnes fontes ou de riblons et rognures, on passe de la qualité ordinaire aux qualités améliorées best et b. best. Peut-être, pour ces dernières,

tout au plus, martèle-t-on le paquet après le premier réchauffage.

Pour les qualités ordinaires, on se borne au procédé courant de la double chaude, immédiatement suivie de laminage. Dans l'usine à laquelle se rapporte l'exemple précité, nous avons compté trois fours de première chaude pour un de seconde. Un seul chiffre encore pour montrer combien la fabrication y était précipitée : on nous dit passer jusqu'à 9 tonnes par douze heures à cette première chaude.

Produits et consommations. — Quant aux produits et consommations de ce travail, on prévoit à ce que nous venons de dire, qu'ils se rapprocheront beaucoup de ceux des diverses fabrications spéciales dont il a été question aux sections précédentes, de ceux notamment rapportés pour les tôles minces du Staffordshire. Les prix de revient du chapitre suivant compléteront les renseignements à cet égard.

Qualité des largets au coke. — Est-il besoin, après cette description succincte, d'ajouter qu'on ne doit s'attendre à trouver dans les largets ainsi obtenus aucune des qualités qui distinguaient les bonnes marques au charcoal? Ni solidité dans la soudure, ni homogénéité : des pailles ou cendrures qui se manifestent par des soufflures à l'étamage, voilà les défauts inévitables de semblables produits. Ce ne sont point les seuls : la nature, essentiellement phosphoreuse des fontes les plus généralement appliquées à cette fabrication, persiste dans les largets et dans les fers noirs, leur communiquant une aigreur qui les rend impropres à la plupart des ouvraisons du fer blanc. Tout au plus conviennent-ils à la préparation des fers étamés en brillant ou en terne pour caisses d'emballage ou pour les toitures des maisons du Canada, etc. Il faut bien reconnaître enfin que la marque *coke-iron* n'est point équivalente à nos bonnes qualités. Il faut plutôt croire, avec quelques personnes, à

la réalité de l'écart de 25 à 30 p. 100 (1) qu'on admet sur les marchés du littoral de la Méditerranée entre nos fers blancs et certains similaires anglais.

Largets en acier puddlé.

Choix des fontes. — Cette fabrication, encore peu développée, a débuté par l'emploi des fontes au coke et à l'air chaud du *Lancashire* et de la *forêt de Dean* : les fontes grises à l'anthracite d'*Yniscedwin*, préalablement mazées pour floss blanc lamelleux, semblent avoir également bien réussi.

Ensemble du procédé. — Le procédé comprend encore deux sections : 1° le puddlage, le cinglage au marteau et le laminage pour barres brutes ; 2° le corroyage et le finissage des largets.

Mode de puddlage particulier pour acier puddlé. — Le puddlage pour acier peut s'exécuter par les moyens ordinaires que nous avons indiqués au chapitre des rails du Cleveland ; mais les quelques usines de la vallée de *Swansea* ou du *Lancashire*, qui ont tenté jusqu'ici cette fabrication, puddlent par un procédé imaginé par M. *James Spence*, l'inventeur des fers blancs en acier puddlé.

Le puddling a deux grilles accolées sur un de leurs côtés et séparées par un autel parallèle à celui qui existe entre la seconde et la sole : elles ont donc la même longueur, c'est-à-dire la longueur de l'autel ordinaire (1 mètre environ) : la première, extérieure, a une largeur de $0^m,55$ (dans le sens de la longueur du four) ; la seconde, intérieure, a $0^m,72$. Les barreaux de la seconde sont à $0^m,10$ ou $0^m,12$ au-dessus de ceux de la première. Enfin, les cendriers des deux grilles sont fermés et munis de portes par lesquelles se règle le courant d'air.

---

(1) Premier volume de l'*Enquête*, page 529 : Observations de M. d'Eichtal sur l'écart de prix des fers blancs anglais et français, à *Gênes*, à *Livourne*, etc.

On conçoit aisément le but que s'est proposé l'auteur de ce dispositif. Pour combattre les dangers d'une atmosphère trop oxydante au moment de la confection des loupes d'acier, il suffirait de fermer la porte du cendrier intérieur, l'excès d'air qui traverse la première grille se consumant sur le charbon incandescent qui couvre la seconde. Par ce moyen, on atteindrait le même but que par l'abaissement du registre des puddlings ordinaires, moins l'inconvénient d'une réduction de température toujours nuisible au travail ultérieur du soudage et du corroyage.

Nous n'avons point été à même de vérifier les avantages qu'on prétend obtenir; mais il peut paraître douteux que le simple passage au-dessus d'une masse de combustible incandescent suffise à dépouiller le courant de flammes de l'excès d'air qu'il entraîne. Ensuite, il ne faut pas perdre de vue que l'abaissement du registre dans les puddlings ordinaires a surtout pour but de suspendre l'afflux d'air par la porte de travail, ce que ne produit pas, tout au contraire, le moyen en question.

Citons pour mémoire une autre modification du même inventeur aux puddlings pour acier, modification encore moins heureuse que la précédente. Perçant l'autel, construit en forme de canal, d'une fente longitudinale sur la face qui regarde la sole, il amène par là, immédiatement après la fusion de la charge, un courant d'air sur le bain, jusqu'au moment où le métal prend nature d'acier. A supposer qu'il ne soit pas contraire au but qu'on se propose, la régularité de l'affinage, les seules difficultés du règlement de cet afflux d'air et de l'entretien du canal suffisent pour faire douter que les puddleurs puissent même s'en servir couramment.

Sauf les modifications que nous venons d'indiquer, le puddlage est d'ailleurs exécuté comme partout. On ajoute du sel marin à la charge dès que commence le bouillonnement.

Enfin, les loupes sont martelées avec soin au frontal et

avec une demi-chaude supplémentaire avant le laminage pour largets bruts.

Corroyage et finissage des largets en acier puddlé au marteau. — Le procédé de corroyage et finissage des *charcoal-bars* a été conservé pour ces sortes nouvelles. C'est, sans aucun doute, à cela qu'elles doivent, en bonne partie, leur classement commercial au niveau, sinon des meilleures, du moins des bonnes marques au *charcoal.*

Nous n'insisterons pas davantage sur cette variété de produits ; elles sont encore trop nouvelles pour être bien connues et appréciées ; leur production est d'ailleurs insignifiante vis-à-vis de celle des variétés précédentes.

§ 2. *Fabrication des fers noirs en feuilles à étamer (Black-plates).*

Consistance des ateliers. — A quelque qualité qu'ils appartiennent, les fers noirs se préparent, en Galles comme dans le Staffordshire, par un procédé assez uniforme. Les usines se divisent en un certain nombre de petits ateliers distincts comprenant : deux fours de réchauffage et deux paires de cylindres unis ; des cisailles et des laminoirs polisseurs. Le tout est exactement établi sur les formes et dimensions rapportées dans la première édition de Karsten (1).

Le travail s'y exécute aussi comme il est dit dans cet ouvrage. Les largets sont cisaillés en languettes de 9 à 12 pouces de longueur : amenés au rouge, ils passent une première fois aux cylindres, jusqu'à ce que la feuille soit revenue au rouge sombre. Immédiatement pliée en deux par le milieu, celle-ci retourne au four, et les *doublons* réchauffés vont au laminage. On plie de nouveau en deux et on continue ainsi jusqu'à ce qu'on ait atteint l'épaisseur voulue. Suivant le numéro de jauge du fer noir, on compte

---

(1) Note de M. S. Parkes : traduction française de la 1re édition de Karsten, 1er volume, page 509.

de 8 à 16, rarement plus de feuilles élémentaires, ainsi superposées au dernier laminage.

Rapidité du laminage. — C'est un travail mené avec une grande rapidité : l'affranchissement se fait sur l'ensemble des 8, 16 ou plus de feuilles, par des cisailles qui rognent les deux longs côtés à la fois, après quoi, des femmes ou des gamins procèdent au décollage. Un personnel de quatre ouvriers (lamineurs et réchauffeurs), d'un cisailleur et un aide, et de quelques petits gamins comme manœuvres, fait environ 1 tonne 3/4 par douze heures, en échantillons assortis. Nous rapporterons en bloc les dépenses de main-d'œuvre et les consommations au chapitre suivant : les déchets de feu sont très-faibles, quelques centièmes seulement, les rognures et rebuts seuls les élèvent ici comme dans le cas des tôles minces (*lattens*) ordinaires.

§ 3. *Fabrication des fers-blancs* (*Tin-plates*).

La fabrication des fers-blancs proprement dits diffère peu, nous l'avons déjà annoncé, de ce qu'elle était en 1834, au moins en ce qui concerne la variété *brillant.* Elle comprend la même série d'opérations qu'on trouve dans la notice de M. Parkes.

Ensemble des manipulations pour fer-blanc brillant. — Bornons-nous à en rapporter la liste, insistant seulement sur les manipulations du premier décapage et du recuit qu'on a notablement améliorées depuis cette époque :

1° Décapage, ou *dérochage*, du fer noir rogné, à l'acide sulfurique étendu ;

2° Lavage à l'eau des feuilles décapées ;

3° Premier recuit, servant en même temps de séchage ;

4° Laminage à froid, aux cylindres polisseurs ;

5° Deuxième recuit, ou recuit proprement dit, à vase clos ;

6° Dernier décapage à l'acide sulfurique plus étendu et récurage de la surface des feuilles ;

7° Étamage comprenant :

1° L'échauffement dans un bain de suif fondu;

2° Le trempage dans le premier bain d'étain, avec séjour variable suivant la qualité à obtenir;

3° Le brossage et le trempage dans un second bain d'étain;

4° L'immersion dans un second bain de suif;

5° La façon du bord de la feuille ou l'enlèvement du bourrelet d'étain, par la trempe dans un troisième pot d'étain.

8° Décapage ou dégraissage des feuilles dans le son;

9° Nettoyage à la peau de mouton;

10° Classement des feuilles en premier et deuxième choix (*waste*) pour chacune des variétés *charcoal*, *coke*, *steel-tin-plates*;

11° Emballage par caisses ou boîtes de 100, 200 ou 225 feuilles, conformément à la classification sur dimensions que nous rapporterons ci-après.

Améliorations depuis 1829. — Jusqu'en 1829, les premières manipulations s'exécutaient ainsi qu'il suit :

Les feuilles rognées étaient pliées séparément à la main sous un angle de 60° environ (∧) ; on les trempait pendant cinq minutes dans de l'acide chlorhydrique étendu, puis on les chargeait sur la sole d'un four à réverbère, sorte de four dormant, où le fer restait jusqu'à ce qu'il fût au rouge. Chaque feuille, après refroidissement, était dépouillée de battitures par le redressement et le battage sur une enclume. Il y avait là, en un mot, décapage et recuit, après quoi venait le laminage à froid.

Recuit en vase clos. — Au lieu de cela, on fait aujourd'hui les trois opérations désignées ci-dessus par les numéros 1°, 2°, 3°. Le premier recuit, comme le second, s'exécute à vase clos, dans des caisses en fonte de 0m,45 de profondeur et d'une section rectangulaire de 0m,30 sur 0m,40 à 0m,45. Elles peuvent contenir cinq boîtes de 225 feuilles. On

charge un certain nombre de ces caisses sur la sole d'un réverbère à deux grilles latérales, où elles séjournent de vingt quatre à trente ou trente-six heures.

Par l'ancienne méthode de décapage et recuit, il y avait d'abord un déchet de fer plus élevé qu'aujourd'hui. En outre, une caisse de fer-blanc, d'un quintal anglais environ, exigeait 15 livres d'étain, tandis qu'actuellement on n'en consomme pas plus de 9 livres pour *charcoal* et 8 pour *coke tin-plates*.

Étamage en terne. — Tout ce que nous venons de dire s'applique au fer-blanc *brillant*; quelques mots maintenant sur les fers-blancs *ternes*.

Il semblerait d'abord que de l'écart considérable qui existe entre les prix du plomb et de l'étain il dût résulter une différence importante entre les revients du brillant et du terne; cette différence est cependant assez réduite, comme on le verra plus loin. C'est que les difficultés de l'étamage s'accroissent rapidement avec la proportion de plomb alliée à l'étain. Après avoir débuté, en Angleterre comme ailleurs, par des alliages où l'étain prédominait, on a tenté l'emploi de combinaisons à 25 ou 30 p. 100 d'étain seulement. Mais la résistance du fer à l'étamage et la température plus élevée qu'il réclame ralentissent alors l'opération; diminuant la production, elles accroissent les frais de main-d'œuvre. A en juger par les renseignements qu'on nous a donnés, l'alliage à parties égales des deux métaux serait aujourd'hui le plus fréquemment employé dans le pays de Galles.

Quant au procédé même de l'étamage, il comprend à très-peu près les mêmes manipulations pour le *terne* que pour le *brillant*. Seulement comme les qualités de la première sorte sont généralement inférieures à celles de la seconde, la fabrication en *terne* est plus expéditive; on y soigne peut-être moins les opérations du décapage en particulier.

Enfin, les dimensions plus grandes que certaines appli-

cations du terne réclament dans les feuilles ont introduit les moyens mécaniques dans la manœuvre des *peignes* d'une cuve à l'autre. Sans doute aussi on a trouvé là un moyen de compenser l'accroissement de main-d'œuvre dont il a été question ci-dessus.

CHAPITRE II.

(Partie économique.)

§ 1. *Importance de la production des fers-blancs dans le Royaume-Uni : le pays de Galles renferme à lui seul les deux tiers des étameries anglaises.*

Nous n'avons cité, dans le chapitre précédent, que le pays de Galles parmi les districts du Royaume-Uni, produisant les fers-blancs; la statistique qui suit motive l'attention spéciale que nous avons donnée aux étameries galloises.

PROVINCES.	COMTÉS.	NOMBRE de mills à 2 cages.		PRODUCTION en boîtes par semaine.	
Pays de Galles. .	Caermarthenshire.	8	74	1.750	16.150
	Glamorganshire.	35		7.550	
	Monmouthshire.	31		6.850	
Angleterre. . . .	Gloucestershire.	10	33	2.500	7.750
	Worcestershire.	8		1.950	
	Staffordshire.	11		2.300	
	Lancashire	4		1.000	
	Totaux.		107		23900

Chaque boîte pesant moyennement un quintal anglais (51 kil.), cela correspondrait à une production hebdomadaire de 1.200 tonnes en nombres ronds, soit 62.400 tonnes ou 12 à 1.300.000 boîtes par an.

Nous devons ce tableau statistique à l'obligeance de MM. *Wood*, *Biddulph*, *Jevons and C°*, chefs d'une importante maison de commission de *Swansea* et *Liverpool*, et nous avons tout lieu de croire exacts les nombres de *Mills*

ou *laminoirs* qui y sont rapportés. Mais, par les vérifications que nous avons pu faire nous-mêmes dans les usines que nous avons vues, nous supposons le chiffre de production par mill un peu faible. Un produit hebdomadaire de 27 à 28.000 boîtes nous semblerait plus près de la vérité. Cela correspondrait d'ailleurs au chiffre de 1.400.000 boîtes par an cité par les fabricants anglais entendus lors de l'enquête (1), et ce serait même encore inférieur aux productions de 300 boîtes par semaine et par laminoir, qu'on nous a indiquées dans une ou deux usines.

Quoi qu'il en soit, on voit que le pays de Galles est le marché régulateur des fers-blancs. Si donc en raison de la similitude des procédés que suivent les divers districts, nous avons pu nous occuper exclusivement du pays de Galles dans la partie technique, c'est encore plus le cas au sujet des conditions économiques de la production des fers-blancs.

Nous avons dit précédemment que le voisinage des mines d'étain de Cornouailles était la cause déterminante de l'établissement de cette industrie dans le pays de Galles. Le tableau statistique confirme cette manière de voir, car, des autres districts qui concourent à la production, deux se trouvent également à portée des dites mines; à portée aussi de recruter dans le pays de Galles des ouvriers exercés depuis longtemps à cette fabrication spéciale. Quant aux étameries plus récemment construites dans le Staffordshire et dans le Lancashire, les premières doivent leur création au voisinage d'un débouché important : Birmingham ; les secondes à la convenance des fontes d'hématite pour les bonnes marques de *coke-tin-plates* ou les *steel-tin-plates*.

(1) Déposition de M. Budd, page 546 du 1er volume de l'*Enquête relative au traité de commerce.*

§ 2. *Prix des matières premières et de la main-d'œuvre.*

Les usines à fers-blancs sont pour la plupart distinctes des établissements de hauts fourneaux et forges avec mines de houille et de fer. Elles achètent leurs fontes et leurs houilles aux cours du marché; quelques-unes même se bornent à laminer pour fers noirs des largets ou tin-bars qu'elles tirent des grandes forges galloises aux prix du commerce. Nos exemples de prix de revient se rapportent spécialement à la première catégorie d'établissements, de beaucoup la plus nombreuse. Les prix de matières premières que nous allons transcrire ici comprennent donc le bénéfice que comporte l'état du commerce des fers.

Fontes. — Les diverses sortes de fontes employées dans les étameries galloises, valaient en 1859-60, la tonne rendue aux usines :

1° Fonte à l'air froid de Bleanavon, Pontypool, Gadlys, etc., 4 liv. 1/2 à 5 liv. ;

2° Fontes grises à l'air chaud du Lancashire et de la forêt de Dean, 3 liv. 5 sh. à 3 liv. 10.

3° Fontes grises à l'air chaud et à l'anthracite, 3 liv. à 3 liv. 15.

Houille et charbon de bois. — La houille valait la tonne forte de 2.400 liv. rendue aux usines; 5 à 7 sh. pour le gros et 3 à 4 sh. le menu.

Le charbon de bois coûtait 54 à 60 sh. la tonne de 1.015 kil. rendue, soit 2 liv. 14 à 3 liv.

Étain. — L'étain provient de trois sources principales:

1° *Du Cornouailles*, prix moyen de 1859 = 138 liv. la tonne prise à Bristol; soit 138 à 139 liv. la tonne rendue, selon la distance des usines ;

2° *De Banca* coûtant 138 à 140 liv. la tonne ;

3° *De Java* (venant par Londres ou par Rotterdam), prix moyen sur la place de Londres 130 liv. et aux usines 131 à

131 liv. 10 sh. Il doit subir un raffinage qui en élève le prix à l'usine à 134 ou 135 liv.

Main-d'œuvre. — La main-d'œuvre d'affinage, puddlage, corroyage et laminage se paye dans les étameries à très-peu près aux mêmes conditions que dans les forges à fers proprement dites du pays de Galles, du Staffordshire, etc. Quant au service des ateliers d'étamage, il est fait par des femmes, des filles, ou de jeunes garçons dont la journée varie de 1 à 2 sh. ou 2 sh. 1/2 (1f,26 à 2f,78).

§ 3. *Prix de revient des produits intermédiaires et définitifs.*

Première période de la fabrication : prix de revient des largets bruts.

	FABRICATION au charcoal.	FABRICATION au coke.
	t. l.sh. l.sh.	t. l.sh. l.s.d.
Fontes diverses et rognures	1,20 à 4.10 = 5. 8.	1,18 à 3,10 = 4. 2.6.
Charbon de bois	0,60 à 0.55 = 1.13.	. . . .
Houille pour coke et menus de chaudières.	1,00 à 0. 5 = 0. 5.	. . . .
Main-d'œuvre	. . . . . . = 0.18.	. . . . . . = 0.17.0.
Houille de puddlage et chaudières	. . . .	2 à 6. . . = 0.12.0.
Frais d'entretien, fournitures diverses et frais généraux, défalcation faite des vieux fers	. . . . . . = 0. 8.	. . . . . . = 0.10.0.
Totaux par 1.015 kil.	. . . . . . = 8.12.	. . . . . . = 6. 1.6.

Deuxième période de la fabrication : prix de revient des largets de tôlerie.

	LARGETS au charcoal.	LARGETS au coke.
	t. l.sh. l. sh.d.	t. l.s.d. l. s.
Largets bruts	1,20 à 8,12. = 10. 6.4.	1,15 à 6.1.6 = 7. 0.
Houille ou coke de réchauffage et pour chaudières	1,50 = 0.10.0.	. . . .
Houille pour réverbères et pour chaudières.	. . . .	1,20 = 0. 7.
Main-d'œuvre	. . . . . . = 0.18.0.	. . . . . . = 0.14.
Frais d'entretien, divers et généraux, moins les vieux fers	. . . . . . = 0.14.0.	. . . . . . = 0.15.
Totaux par 1.015 kil.	. . . . . . = 12.8.4.	. . . . . . = 8.16.

Observation. — Les largets de tôlerie dont il s'agit ici sont de bonne qualité; ceux au coke en particulier sont certainement supérieurs à la plupart des produits connus sous ce nom, l'usine à laquelle se rapportent ces chiffres produisant surtout des *coke-tin-bars best* et *best-best*. Mais les qualités ordinaires ne reviennent pas à plus de 7 liv. à 7 liv. 10 sh. la tonne de 1.015 kil.

A côté de ces chiffres, plaçons tout de suite le prix de revient des *largets* ou *languettes* de tôlerie en acier puddlé, à partir de la fonte :

	liv.	sh.
1t,30 de fonte à 3 liv. 10 sh.	4.	11.
3 tonnes de houille ou coke (puddlage, réchauffage et chaudières).	0.	18.
Entretien des fours et matières additionnelles.	0.	6.
Main-d'œuvre (puddlage, corroyage et finissage).	1.	15.
Entretien, frais divers et généraux après défalcation des vieux fers.	1.	5.
Total par 1.015 kil.	8.	15.

Troisième période de la fabrication : prix de revient des fers noirs.

	Charcoal.	Coke.	Steel.
	l. sh. d.	l. sh. d.	l. sh. d.
Largets ou languettes, 1t,25 (moyenne).	15. 10 5.	10. 7. 6.	11. 0. 0.
Houille, 1 tonne à 1t,10.	0. 5. 0.	0. 5. 0.	0. 6. 0.
Main-d'œuvre	1. 10. 0.	1. 10. 0.	1. 8. 0.
Frais généraux, divers et entretien.	1. 0. 0.	1. 0. 0.	1. 0. 0.
Totaux.	18. 5. 5.	13. 2. 6.	13. 14. 0.
A déduire : rognures et rebuts (0t,13 à 0t,20), vieux moulages, etc.	1. 0. 0.	0. 15. 6.	1. 0. 0.
Totaux par 1.015 kil.	17. 5. 5.	12. 7. 6.	12. 14. 0.

Observations. — Les usines au charcoal, qui payent le charbon de bois un peu plus cher ou qui n'emploient que des fontes à 6 liv., ne produisent pas les 1.015 kil. de fers noirs de première qualité à moins de 18 liv. Par contre, quelques-unes qui choisissent moins les fontes et qui remplacent partiellement le charbon de bois par du coke, produisent des fers noirs *charcoal deuxième qualité* à 14 ou 15 livres. De même, bon nombre d'usines fabriquent leurs fers noirs au coke à 10 ou 11 liv., c'est-à-dire à peu près au même prix que les double et lattens des forges à fer marchand.

Dernière période de la fabrication : prix de revient de la caisse ou boîte de fers blancs.

Il est difficile d'établir des prix de revient particuliers pour les différentes dimensions de feuilles. Nous rapporterons donc les prix de revient, tels que les comporte la comptabilité des usines, c'est-à-dire d'une boîte ou caisse

d'échantillons assortis dans les proportions communément demandées par le commerce.

	CHARCOAL.	COKE.	STEEL.
	liv. sh. d.	liv. sh. d.	liv. sh. d.
Fer noir, 109 liv. . . .	16. 9.	12. 0.	12. 4.
Etain, 9 liv.	12. 3.	liv. onc. 7. 7. 10. 0.	8 1/2 à 9. 12. 0.
Houille, 0^t,012.	0. 4.	0. 4.	
Huile de palme et graisse, 2 liv. 9 onc.	1. 1.		
Son, 3 livres 13 onces.	0. 4.		
Boîte	0. 7. 5/10	6. 9. 5/10	7. 0.
Main-d'œuvre.	2. 5.		
Frais généraux et divers.	1. 9.		
Totaux.	1. 16. 1. 5/10	1. 9. 1. 5/10	1. 11. 4.
A déduire, son et menus matériaux. . . .	1. 5/10	1. 5/10	1. 5/10
Totaux par boîte de 1 quintal (51 kil.) à l'usine.	1. 16.	1. 9.	1. 11. 2. 5/10
Soit par 100 kilog. en francs.	89^f,94	71^f,65	77^f,08

Variation du prix de revient. — Les prix de revient des *charcoal tin-plates* s'élèvent rarement au-dessus de 36 sh. la caisse ; mais ils descendent dans quelques usines à 31 ou 32.

Les fers-blancs au coke qui coûtent 29 sh. sont les bonnes marques, les chiffres de la deuxième colonne de notre tableau se rapportant à une usine dont la majeure partie des produits est en best et best best. La plupart des marques ordinaires de *coke-tin-plates* ne reviennent pas à plus de 24 ou 25 sh. (1 liv. 4 à 1 liv. 5).

Différences entre le terne et le brillant. — Enfin on nous a partout indiqué 2 à 3 sh. comme différence des revients du *brillant* et du *terne* de qualités correspondantes.

Frais accessoires à la charge des fabricants. — Dans la comparaison des prix de revient qui précèdent avec les prix de vente du paragraphe suivant, il faudra se rappeler que ceux-ci sont les cours au port d'expédition. Le fabricant doit donc ajouter 1 sh. environ, pour frais de trans-

port, à tous les chiffres indiqués. Qu'on n'oublie pas non plus que les prix de revient sont des prix spéciaux, sans aucun intérêt de capitaux.

§ 4. *Débouchés. — Prix de vente. — Bénéfices.*

Exportation des fers-blancs anglais. — Sur une production totale de 70 à 75.000 tonnes (14 à 1500.000 boîtes) l'exportation paraît en absorber jusqu'à 50 à 60.000. M. *Blackwell* dans un opuscule que nous avons déjà plusieurs fois cité, fixait en effet, à 45.000 tonnes pour 1850 et 50.000 pour 1851 la part de l'exportation dans le commerce des fers-blancs; or, depuis cette époque, elle a augmenté au moins de 1/4 à 1/3. M. *Palmer Budd* estimait, lors de l'enquête (1), que sur 1.400.000 caisses l'Amérique en devait demander un million, le surplus se consommant en Angleterre. Il voyait de plus la cause de l'énorme consommation de l'Amérique, dans la mobilité de la population américaine et dans la fréquence de ses émigrations; la légèreté du fer-blanc, sa résistance aux chocs, au feu, aux intempéries, en font un métal précieux pour tous les objets qu'emportent avec eux les émigrants. Enfin l'habitude des toitures en fer-blanc terne ou brillant a également beaucoup développé la consommation.

Variations des prix de vente de 1840 *à* 1860. — Nous avons déjà dit l'influence que ce commerce d'exportation avait exercée sur la qualité, ici comme dans le cas des fers marchands et des rails. Sans doute aussi, on retrouverait, par cette cause, des fluctuations dans le cours des fers-blancs correspondant à celles que nous avons signalées au sujet des autres produits. Bornons-nous à rapporter les renseignements que nous avons pu recueillir à cet égard pour la période 1840-1860:

---

(1) Tome Ier de l'*Enquête*, pages 546 et 547.

Prix de la caisse de fer-blanc au coke : marque IC.

Années.	Prix.	Années.	Prix.	Années.	Prix.	Années.	Prix.
	sh. d.		sh. d.		sh. d.		sh. d.
1840	30. 9.	1845	29. 1.	1850	27. 6.	1855	27. 6.
1841	31. 6.	1846	26. 2.	1851	25. 10.	. . .	. . . .
1842	29. 2.	1847	25. 3.	1852	23. 3	. . .	. . . .
1843	25. 10.	1848	25. 1.	1853	26. 4.	1859	26.
1844	28. 3.	1849	27. 6.	1854	27. 10.	1860	

Observations. — Ces prix se rapportent à ce qu'on appelle *premier choix* ou *good merchantable*. Le deuxième choix au coke se vend 2 sh. environ de moins que le premier. Les fers-blancs *au charcoal* se cotent généralement à 5 sh. en dessus des *coke* premier choix.

On voit, par là, que même aux périodes les moins prospères, les prix descendent difficilement au-dessous de 25 à 26 sh. pour le *coke premier choix* et à 30 ou 31 sh. pour les *charcoal*. On doit voir dans ces chiffres les limites inférieures auxquelles peuvent descendre les prix de revient, car aux époques difficiles, la boîte IC se vend à très-peu près au prix de revient et même un peu en-dessous.

Années 1859, 1860. — Depuis deux ou trois ans l'industrie des fers-blancs anglais est précisément dans cette situation, ainsi qu'il résulte des prix détaillés contenus dans le tableau suivant. Ils se rapportent aux années 1859 et 1860; sur ces prix, le fabricant accordait généralement un escompte de 3 p. 100.

Nombre de feuilles par boîte.	MARQUES.	DIMENSIONS superficielles.	POIDS.			CHARCOAL tin-plates.		COKE tin-plates.		OBSERVATIONS.
			Quintaux de 112 liv.	Quarts.	Livres.	1er choix.	2e choix.	1er choix.	2e choix.	
		pouces.				sh.	sh.	sh.	sh.	
225	IC.	14 × 10	1	0	0	31	29	26	24	L'épaisseur des feuilles IC est de 33/100 de millimètre; celles de IX, IXX vont en croissant jusqu'à 59/100 de millimètre par la marque IXXXX.
	IX.	id.	1	1	0	37	34	32	»	
	IXX.	id.	1	1	21	43	40	38	»	
	IXXX	id.	1	2	14	49	43	43	»	
	IXXXX.	id.	1	3	7	55	49	49	»	
100	DC.	17 × 12 1/2	0	3	21	27	25	22	»	Epaisseur de DC=42/100 de millimètre. Augmentation de 5 à 6/100 par numéro, pour les marques suivantes.
	DX.	id.	1	0	14	33	30	28	»	
	DXX.	id.	1	1	7	39	33	34	»	
	DXXX.	id.	1	2	0	45	39	39	»	
	DXXXX.	id.	1	2	21	51	45	45	»	
200	SDC.	15 × 11	1	1	27	53	47	47	»	Epaisseur SDC=46/100 de millimètre, augmentant progressivement jusqu'à 69/100 de millimètre pour le n° SDXXX.
	SDX.	id.	1	2	21	59	53	52	»	
	SDXX	id.	1	3	14	65	59	60	»	
	SDXXX.	id.	2	0	7	71	65	66	»	
	SDXXXX.	id.	2	1	0	77	71	72	»	
225	IIIC.	12 3/4 × 9 1/2	0	3	16	27	24	»	»	Epaisseur de IIIC=32/100 de millimètre.
	IIIX.	id.	1	0	14	33	30	»	»	
	IIIXX.	id.	1	1	14	39	36	»	»	
	IIIXXX.	id.	1	2	14	45	42	»	»	
	IIIXXXX.	id.	1	3	14	51	48	»	»	
	IIC.	13 1/4 × 9 3/4	0	3	21	29	26	»	»	»
	IIX.	id.	1	0	21	35	32	»	»	
	IIXX.	id.	1	1	21	41	38	»	»	
	IIXXX.	id.	1	2	21	47	44	»	»	
	IIXXXX	id.	1	3	21	53	50	»	»	
450	TIT (fers noirs).	14 × 10	1	0	0	60	»	»	»	Epaisseur = 165/1000 de millimètre.

Les ternes tin-plates se vendent généralement 2 à 3 sh. de moins par boîte que les fers-blancs brillants de qualités correspondantes. Enfin, les fers-blancs d'acier puddlé sont cotés entre les marques au coke et au charcoal.

Bénéfices réduits des fabricants en 1859 *et en* 1860. — Si l'on compare les prix de vente aux prix de revient rapportés ci-dessus, on conclura que les bénéfices des fabricants étaient fort réduits en 1859 et 1860. Il semblerait résulter de cette comparaison que les produits au charcoal donnent moins de bénéfices que ceux au coke; mais il est bon d'ajouter que les fabricants des qualités soignées au charcoal obtiennent souvent des prix un peu supérieurs aux cours commerciaux. Ainsi, l'usine à laquelle nous avons emprunté le prix de revient de 36 sh. pour échantillons charcoal assortis, a souvent vendu, en 1859-60, la marque IC, 32 et 33 sh. Enfin, il ne faut pas oublier que nos prix de revient s'appliquent aux moyennes d'échantillons livrés au commerce : selon que les marques X, XX, etc., sont plus ou moins fréquentes dans les ventes, le bénéfice définitif doit s'élever ou s'abaisser.

§ 5. *Prix de vente des largets et des fers noirs non étamés.*

Nous avons dit, au début de ce chapitre, que certaines usines à fers-blancs achetaient des largets de tôlerie; d'autres vendent des fers noirs non étamés : indiquons, en terminant, les prix de vente, pour 1859-60, de quelques-uns de ces produits.

Largets de tôlerie fine.

	Charbon de bois.	Coke, 1re qualité.	Coke, 2e qualité.
Par 1.015 kil. . . .	14 liv. 10 sh.	9 liv. 10 sh.	9 liv.

Tôles minces de 875/1000 de millimètre et au-dessus (singles).

	Charcoal.	Coke ordinaire.	Coke Best.	Coke B. Best.
Par 1.015 kil. . . .	19 liv.	9 liv. 10 sh.	11 liv.	14 liv. 5 sh.

Fers noirs de 3/10 à 2/10 de millimètre.

Les prix de vente de ces variétés se fixent, en partant des prix de singles, qualités correspondantes, et en y ajoutant les écarts suivants, par tonne :

						liv.	sh.
1°	Tôles minces de	55/100	de millimètre	à 70/100	. . .	1.	10.
2°	*Id.*	40/100	*Id.*	à 55/100	. . .	3.	0.
3°	*Id.*	35/100	*Id.*	à 40/100	. . .	4.	0.
4°	*Id.*	30/100	*Id.*	à 35/100	. . .	5.	0.

TROISIÈME SECTION.

Verges de clouterie et de tréfilerie.

Les forges qui s'occupent des petits *ronds* de $5^{mm},95$ (n° 4 de la jauge de Birmingham), désignés sous les noms de verges de clouterie et de tréfilerie, fabriquent en même temps un certain nombre d'autres produits :

(1°) *Des verges* ou *gros fils de clôtures* n°s 0, 1, 2, 3, 4 de la jauge (diamètres de $0^m,0085$ à $0^m,00595$) (*fencing-rods*) ;

(2°) Des fers fendus (*slit-rods*) du n° 000 au n° 17 ($0^m,01062$ à $0^m,00145$) ;

(3°) Des fers pour clous à chevaux (*horse-nails*), pour rivets (*rivet-iron*), de petits ronds pour *câbles* et *chaînes* (*cable-iron*).

Fers fendus et verges de clôtures. — Les fers fendus et les fils laminés pour clôtures se préparent à peu près exclusivement à la houille. Le fer brut, provenant du puddlage direct des fontes grises ordinaires du Shropshire ou du Staffordshire, est corroyé au laminoir et fini par un procédé qui ne diffère pas notablement de celui appliqué aux fers marchands. Aussi les prix de revient semblent-ils fort voisins de ceux des plus petits fers en barres : nous n'en parlerons pas davantage.

La fabrication des verges et surtout de la verge de tré-

filerie, par la variété de ses produits et par l'importance de l'industrie qu'elle dessert (l'industrie des fils de fer), nous a paru mériter par contre une description au moins sommaire des procédés de travail. Ce que nous en dirons s'applique, du reste, également à très-peu près aux divers produits rangés sous le n° (3°).

Classification des verges. — Parmi les variétés assez nombreuses de verges de tréfilerie anglaise, on distingue d'abord celles dites *charcoal-rods*, que, dans le Yorkshire, à Sheffield et à Halifax notamment, les tréfileries préparent elles-mêmes, soit en affinant les fontes au bois suédoises, soit en corroyant et laminant des *massiaux* de même provenance.

Après celle-là vient la sorte beaucoup plus répandue, à laquelle nos voisins donnent aussi le nom de *charcoal-rod*, mais qui, comme les *charcoal-tin-plates*, provient de l'affinage au charbon de bois de certaines fontes au *coke*, suivi d'un corroyage au marteau très-soigné.

Enfin, les variétés dont la production est la plus considérable sont les *coke-wire-rods*, *common*, *best* et *best-best*.

N'ayant point eu l'occasion de suivre la fabrication de la première marque au *charcoal* (fer de Suède), nous nous bornerons à présenter un résumé succinct du travail pour *charcoal-rods* de fonte anglaise et pour les trois qualités de *coke-wire-rods*.

§ 1. *Procédés de fabrication de la verge de tréfilerie.*

Verge au charbon de bois (charcoal wire-rod).

Choix de fontes. — Les fontes galloises, à l'air froid et au coke, de *Bleanavon*, *Pontypool*, etc.; les floss lamelleux mazés ou même certaines fontes brutes à l'anthracite (d'*Yniscedwin*, par exemple) (1), voilà, avec les fontes

(1) Rappelons que les fontes d'Yniscedwin proviennent de lits de fusion contenant un tiers d'hématite du *Cumberland* et deux tiers de *Welsh-mine*: le Shropshire emploie des lits de fusion analogues.

grises à l'air froid du Shropshire, les matières premières de cette fabrication.

Toutes les fontes brutes sont mazées dans de petites fineries, indépendantes ou liées au foyer d'affinage au charbon de bois, comme dans la fabrication des fers-blancs. Les loupes sont parfaitement cinglées au marteau frontal avant de passer au laminoir qui les transforme en barres à corroyer. Encore ici on affine les rognures et rebuts ou riblons divers au petit foyer et au charbon de bois pour loupes, qu'on traite comme les précédentes.

Le corroyage des barres de l'une et l'autre sorte se fait par paquetage, réchauffage au *réverbère*, soudage et étirage au laminoir pour barreaux de *tirerie* de 30 millimètres environ de côté. Pour les qualités les plus soignées, on martèle le paquet avant de le passer au laminoir : ce mode de travail, qui exige deux chaudes pour le moins, semble assez rare dans les ateliers que nous avons visités. Il arrive peut-être aussi souvent que le paquet, soudé d'une première chaude, est immédiatement étiré d'une seconde pour verge finie.

Les barreaux de tirerie sont cisaillés en bidons de longueur voulue, que, d'une chaude au rouge, on étire pour verge n° 4.

L'ensemble de ce procédé rappelle celui que nous avons décrit précédemment pour les fers noirs au *charcoal*, avec cette différence que le corroyage et le finissage sont ici un peu plus expéditifs, c'est-à-dire plus économiques.

Qualité de la verge obtenue. — Avec les fontes à l'air froid du pays de Galles ou du Shropshire, on obtient ainsi, paraît-il, des verges de très-bonne qualité, qui se prêtent parfaitement au travail de tréfilage jusqu'aux n°s 22 et 23 de la jauge de Birmingham (diamètre de 6/10 à 7/10 de millimètre). On prétend même qu'on pourrait encore descendre au-dessous. On réserve cependant, pour les numéros plus fins, les verges en fer de Suède, soit que réel-

lement les premières soient incapables d'un étirage plus considérable, soit que la nature des secondes convienne mieux aux usages spéciaux des fils plus minces. Ceux-ci sont destinés, en effet, à la confection des peignes et des cardes, où il faut une certaine dureté et une certaine roideur qu'on ne rencontre à un degré convenable que dans les fers de Suède, toujours un peu aciéreux.

Verges au coke.

Marque ordinaire de verge au coke. — Pour marque ordinaire (*common*), on puddle directement les fontes grises, au coke et à l'air chaud, du Staffordshire; les loupes, cinglées au marteau comme pour les bonnes qualités de barres marchandes, sont, de la même chaude, laminées pour *puddled bars*. Celles-ci sont paquetées, réchauffées au réverbère et, d'une chaude ou d'une chaude et demie, soudées et étirées au laminoir en verge fine (n° o à n° 4). On n'obtient ainsi qu'une verge propre tout au plus au tréfilage des gros numéros, s'employant même plus souvent comme verge de clôtures, ainsi qu'il a été dit plus haut.

Best coke wire rod. — Pour verge, dite *best coke wire-rod*, les mêmes fontes, mélangées parfois de fontes d'hématite ou autres supérieures, sont puddlées directement : les loupes sont martelées et doublées ou triplées, avec ou sans chaude supplémentaire dans le puddling même. Le prisme de doublage est reporté sur la sole d'un four de ballage, et de cette nouvelle chaude, transformé en barreau de tirerie, qu'on étire ensuite au laminoir pour verge à tréfiler. Quoique déjà de qualité supérieure à la précédente, la verge *best* au coke ne s'applique guère qu'aux numéros de fil d'un diamètre égal ou supérieur à $0^{mm},875$.

Best-best coke wire-rod. — Pour qualité *best-best coke rod*, les barres puddlées sont faites avec les meilleures fontes au coke du Staffordshire ou du Shropshire, ou bien avec des

mélanges de celles-là et de fontes du Cumberland et du Lancashire. En outre, on ajoute à la fin du puddlage des riblons ou de la menue ferraille de bonne qualité : mêmes moyens d'amélioration que nous avons déjà mentionnés au sujet des barres marchandes.

Enfin, dans les paquetages, on fait entrer plus ou moins de fer déjà amélioré ou corroyé : on étire et soude ces paquets au laminoir pour barreaux, puis ceux-ci pour verge.

Quoique réputé de bonne qualité, ce produit ne va pas à la filière pour fils d'un diamètre inférieur au n° 22 de la jauge ($0^m,0007$) : encore les déchets ou rebuts de tréfilage s'accroissent-ils très-rapidement quand on fabrique avec ladite marque les n°s 20 à 22.

§ 2. *Prix de revient et de vente. — Débouchés. — Tréfilerie de Birmingham.*

Conditions générales des usines. — Les principales usines, vouées à cette fabrication, sont situées aux environs de *Stourbrige*, sur des cours d'eau reliés au grand canal du Staffordshire ou sur le canal lui-même. La majeure partie de leurs matières premières leur arrive par cette voie et par la *Severn*, dont le point de jonction avec le canal est à *Kidderminster*.

Fontes. — Les fontes galloises à l'air froid leur coûtent, rendues :

5 liv. à 5 liv. 10 sh. la tonne de 1.015 kil.

Les fontes à l'anthracite, brutes :

3 liv. 15 sh. à 4 liv.

Les bonnes marques du *Shropshire* :

4 liv. à 4 liv. 10 sh.

Les marques ordinaires du Staffordshire (grises au coke) :

3 liv. 10 sh. à 3 liv. 15 sh. la tonne de 2.400 livres (unité de vente dans ces deux derniers districts).

Houille et charbon de bois. — La houille du Staffordshire, le *lumps* (moyen mélangé de gros) :

9 sh. 3 d., dont 2 sh. 3 d. de transport.

Le charbon de bois vient des environs et coûte 2 liv. 10 sh. à 3 liv. la tonne rendue à l'usine.

Main-d'œuvre. — Les prix élémentaires de la main-d'œuvre, dans les diverses manipulations, sont, à très-peu près, ceux du Staffordshire dans le travail des fers marchands.

Dans ces conditions générales, en s'aidant surtout des tableaux complets que nous avons donnés pour les largets de tôlerie et les fers noirs, on établirait facilement les prix de revient *spéciaux* des divers produits intermédiaires ou finis. Pour éviter des redites, bornons-nous aux indications qui suivent :

Prix de revient des principaux produits. — 1° Les barreaux *charcoal* des meilleures fontes reviennent à 11 liv. ou 11 liv. 10 sh. les 1.015 kil.; avec des mélanges de fontes, à 4 liv. 10 sh. de prix moyen, le revient s'abaisse à 9 ou 10 liv.

Les verges correspondantes coûtent de 13 à 15 liv., parfois même 16 liv.

2° *Les barreaux au coke* (*common* et *best*) reviennent à 7 ou 8 liv. avec des fontes de 3 liv. 10 sh. ou 4 liv. ; les best-best, à 8 ou 9 liv. ; les verges correspondantes, 8 liv. 10 sh. à 11 liv. ou 11 liv. 10 sh.

Frais accessoires. — A tous ces prix, il faut ajouter le transport et autres menus frais de vente jusqu'au marché principal de ces produits, qui est Birmingham, soit 5 sh. en nombres ronds. Pour l'exportation, le transport jusqu'à la mer (Liverpool, Bristol, Newport, etc.), est de 10 sh. en moyenne.

Enfin, les prix de vente que nous allons rapporter pour 1859-60 sont ceux du cours officiel ; mais le fabricant fait encore des escomptes variables de 3 à 4 p. 100.

Tableau des prix de vente des principaux produits compris dans cette section.

	1° *Barreaux de tirerie.*		
	liv. liv.		liv. liv.
Charcoal.	11 à 12	Coke (moyenne qualité). . .	8 à 9
	2° *Verges de tréfilerie.*		
	liv. liv.sh.		
Charcoal de Suède.	18 à 19.10	Coke common.	9 à 10
— de fontes au coke choisies.	17 à 18	— Best.	11 à 12
— de riblons.	16	— Best-Best.	12 à 13
	3° *Verges de clouterie, visserie, boulonnerie, etc.*		
Charcoal.	16 à 18	Coke.	10 à 11
	4° *Verges de clôtures* (au coke).		
Nos 0, 1, 2 de la jauge . . .	9 liv.	Nos 3 et 4	9 liv. 10 sh.
	5° *Verge fendue.*		
	l. sh. l. sh.		l. sh.
Du n° 0,0,0 au n° 12. . .	8.10 à 9.	N° 15.	11. 00
N° 13.	9	N° 16.	11. 10
N° 14.	9.10	N° 17.	12. 00

Débouchés ; industrie de la tréfilerie en Angleterre. — Une large part de ces produits s'écoule par exportation directe dans les mêmes contrées qui reçoivent les fers en barres de l'Angleterre ; mais, pour ne parler que de la plus importante, de la verge de tréfilerie, elle n'est guère livrée à l'exportation qu'après ouvraison en fils de diverses dimensions. *Birmingham* est le centre le plus considérable de la tréfilerie anglaise. Elle s'est établie récemment dans *le pays de Galles* (*Newport* et *Chepstow*) et dans le *Lancashire* (*Manchester*, *Liverpool*, *Warrington*) ; mais la production sur ces divers points disparaît, comme celle des fils de cardes et peignes du *Yorkshire*, devant l'importance de la fabrication de Birmingham. C'est dans cette dernière ville, du reste, que se produisent principalement les fils de fer au coke, la marque prédominante de la tréfilerie anglaise ; on estime que sur 15 à 20.000 tonnes de fils que produit Bir-

mingham, il n'y en a pas plus de 1/6 à 1/5 en qualités supérieures (charcoal ordinaire et charcoal de Suède).

Il nous a donc paru utile de terminer cette section par quelques renseignements sur les conditions générales des ateliers de tréfilerie de Birmingham.

Le tableau qui précède montre à quels prix ces ateliers se procurent leur principale matière première. Ajoutons que tous marchent à la vapeur, payant le menu de chaudières 6 sh. la tonne rendue. Les gros charbons pour recuits leur reviennent à 12 ou 13 sh.

La main-d'œuvre y semble fort élevée; en voici quelques exemples :

Les *tréfileurs* gagnent communément de 2 à 3 liv. (50 à 75 fr.) par semaine, c'est-à-dire par soixante heures de travail.

Les manœuvres se payent 3 sh. par jour (22f,68 par semaine).

Les enfants les plus jeunes (apprentis de dix à douze ans) reçoivent de 4 à 5 sh., et ceux de douze à quinze ans 5 à 7 sh. par semaine.

Quant aux conditions techniques du travail et à l'outillage, les usines de Birmingham ne nous ont paru offrir aucune particularité, aucune différence notable avec les similaires françaises.

Enfin, voici un tableau des prix de vente des numéros fabriqués par un des principaux ateliers de Birmingham, avec les prix de verges correspondantes, pour les années 1859 et 1860.

L'atelier dont il s'agit avait une force motrice de 100 à 120 chevaux, un personnel de trente tréfileurs et quarante ouvriers divers : aiguiseurs, recuiseurs, enfants et manœuvres; il produisait 2.000 tonnes de fils divers par an. Nous avons immédiatement traduit les unités anglaises en

mesures françaises, afin de rendre la comparaison plus facile au lecteur.

PRIX DE LA VERGE N° 4.	n° 6.	n° 7.	n° 8.	n° 9.	n° 10.	n° 11.	n° 12.	n° 13.
Au coke :	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
9 liv. 10 sh. = 239f,40	315,00	326,00	338,00	349,00	360.00	382,50	406,00	427,50
10 liv. = 255f,00	338,00	349,00	360,00	371,25	382,50	406,00	427,50	450,00
12 liv. = 302f.00	382,50	393,75	406,00	416,25	427,50	450,00	472,50	495,00
Au charbon de bois :								
17 liv. = 428f,40	495,00	506,00	517,50	528,50	540,00	562,50	585,00	607,50
18 liv. 10 sh. = 466f,20	540,00	551,25	562,50	562,50	585,00	607,50	630,00	652,50

PRIX DE LA VERGE N° 4.	n° 14.	n° 15.	n° 16.	n° 17.	n° 18.	n° 19.	n° 20.
Au coke :	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
9 liv. 10 sh. = 239f,40	450,00	481,50	506,00	551,25	585,00	619,00	652,50
10 liv. = 255f,00	472,50	506,00	540,00	575,75	607,50	641,00	675,00
12 liv. = 302f,00	506,00	551,25	585,00	619,00	652,50	686,00	720,00
Au charbon de bois :							
17 liv. = 428f,40	630,00	»	»	»	»	»	»
18 liv. 10 sh. = 466f,20	675,00	708,75	742,50	776,50	805,00	843,75	1,000,00

RECHERCHES THÉORIQUES

SUR LES EFFETS MÉCANIQUES DE L'INJECTEUR AUTOMOTEUR DE M. GIFFARD.

Par M. **RÉSAL**, ingénieur des mines.

Les différents auteurs (*) qui se sont occupés de la théorie mécanique de l'injecteur automoteur, ont pris pour point de départ l'équation relative à la conservation des quantités de mouvement en projection sur l'axe de figure de l'appareil, en assimilant à la collision de deux corps solides le phénomène qui se manifeste, dans l'intervalle compris entre les deux ajutages, sur l'eau et la vapeur.

Mais lorsque dans le mouvement des fluides il se produit une diminution brusque de vitesse, il en résulte une réduction de pression du même ordre de grandeur. C'est donc à tort que l'on a négligé dans le second membre de l'équation, dont le principe de la conservation des quantités du mouvement n'est qu'un cas particulier, les impulsions de pression d'amont et d'aval; ce qui, dans certains cas, peut donner pour la vitesse du jet un chiffre moitié de sa valeur réelle.

(*) MM. Combes, *Annales des mines*, t. XV, 5ᵉ série (1859);
Reech, 1860;
Reinhart (*Zeischrift des Œsterreichischen ingenieur Vereines*);
Carvallo (extraits dans les mémoires de la *Société des ingénieurs civils*, 1860);
Robinson en Angleterre, dont je n'ai pu me procurer le mémoire.

Dès le mois d'octobre 1859, et avant qu'aucun mémoire n'ait paru sur ce sujet, j'avais posé exactement cette équation fondamentale. Si je n'ai pas publié plus tôt ce travail, cela tient d'abord à ce que je n'avais aucune donnée positive sur la formule qui représente la loi de l'écoulement des vapeurs ; lacune que j'ai comblée depuis, en collaboration avec M. Minary (*). D'autre part, je me suis trouvé longtemps arrêté par l'insuffisance des principes ordinaires de la mécanique pour déterminer complétement toutes les inconnues du problème ; enfin j'ai dû préalablement me livrer avec M. Minary à des expériences précises, dont on trouvera la relation à la fin de ce mémoire, sur un appareil spécial qui représente uniquement le principe de l'injecteur.

M. Reech a suppléé à l'indétermination que je viens de signaler, en assignant une limite au fonctionnement régulier de l'appareil ; il s'est servi à cet effet, soit de l'équation ordinaire des échanges de chaleur entre l'eau et la vapeur, soit de la modification qu'elle doit subir lorsqu'on admet le principe de l'équivalent mécanique de la chaleur.

M. Carvallo a résolu complétement la question, en admettant que le travail moléculaire qui se produit entre les deux ajutages peut s'estimer de la même manière que si la vapeur était un liquide. La perte de travail obtenue de cette manière est trop faible du travail nécessaire pour produire la condensation de la vapeur.

Une induction théorique, jointe à une hypothèse sur la manière dont la vapeur se condense entre les deux ajutages, m'a conduit à une expression analytique de ce travail. Les conséquences déduites de l'introduction de cette expression dans l'équation des forces vives, s'accordent d'une manière très-satisfaisante avec les expériences mentionnées plus haut et qui sont au nombre de cinquante.

Dans ces expériences, on a fait varier la pression de demi

(*) *Annales des mines*, 1861.

en demi-atmosphère de 1 atmosphère 1/2 à 5 atmosphères, et la température de l'eau d'alimentation de 10° en 10°, entre 20° et 60°; pour quelques-unes d'entre elles, cette température a été portée à 15°.

Sans attacher une grande importance à l'induction théorique mentionnée plus haut, je crois devoir la reproduire pour montrer de quelle manière je suis arrivé à une formule, empirique, si l'on veut, qui représente bien les phases de ce phénomène.

Avant d'aller plus loin, je dois mentionner un mémoire sur l'injecteur de M. Zeuner de Zurich (*), basé uniquement sur la nouvelle théorie mécanique de la chaleur; mais l'auteur fait implicitement l'hypothèse que le jet lancé dans le récepteur divergent, n'est capable que de vaincre strictement la pression dans la chaudière, tandis que M. Minary et moi avons reconnu que, dans plusieurs cas, le jet peut pénétrer dans une capacité offrant une tension beaucoup plus forte. La théorie de M. Zeuner n'est donc pas admissible.

Quant au récepteur, je l'ai étudié sous un point de vue nouveau, en attribuant à la gerbe sa densité réelle, et non comme on l'a fait jusqu'ici, celle de l'eau qui est, selon les cas, de deux à huit fois plus considérable. C'est ainsi que je suis arrivé à expliquer ce fait que, en abaissant la pression dans la chaudière jusqu'au moment où l'introduction cesse, on peut la rétablir en réduisant l'orifice du récepteur.

Je n'ai pas cru devoir m'occuper de l'injecteur au point de vue économique; je ne saurais mieux faire que de renvoyer pour cet objet au savant mémoire de M. Reech.

(*) Civil Ingenieur von Freiberg.

§ 1. DU TRAVAIL MOLÉCULAIRE RÉSULTANT DE LA CONDENSATION DE LA VAPEUR.

1. — *Vapeur surchauffée ramenée à saturation sous la même pression.* — Concevons, sous l'unité de poids, une masse de vapeur non saturée, sous la pression P, à la température z', comprise dans un cylindre sous un piston, et soient x' sa densité, z la température de la vapeur saturée à la même pression et x la densité correspondante.

Nous supposerons qu'une charge équivalente à P kilogrammes par mètre carré, soit uniformément répartie sur la face supérieure du piston et que le tout soit placé dans le vide.

Admettons que par un moyen quelconque, par exemple à l'aide d'un autre piston adapté au fond du cylindre, on introduise graduellement sous le piston principal, de l'eau extérieure à la température θ, et soit u le poids d'eau strictement nécessaire pour ramener la vapeur à saturation. Le piston a dû descendre pendant cette opération, et la charge a développé ainsi un certain travail que nous allons calculer et que nous représenterons par Γ_1.

Représentons, pour abréger l'écriture, par $a+bz$ la chaleur totale de la vapeur saturée à la température z, expression dans laquelle on devra supposer $a = 606,5$, $b = 0,305$ et soient $c = 0,475$ la chaleur spécifique de la vapeur d'eau sous pression constante, α le coefficient de dilatation des gaz que nous prendrons égal à 0,004, ρ le poids spécifique de l'eau dont nous négligerons les variations correspondant à celles de la température.

La quantité de chaleur perdue par la vapeur en supposant c constant, ou en assimilant par approximation, la vapeur surchauffée aux gaz permanents, est

$$c(z'-z),$$

et la quantité de chaleur employée pour volatiliser le poids u de l'eau introduite

$$u(a+bz-\theta).$$

On a donc pour l'équation des échanges de chaleur

$$c(z'-z)=u(a+bz-\theta);$$

d'où

$$u=\frac{c(z'-z)}{a+bz-\theta},$$

d'après l'ancienne théorie qui d'ailleurs ne donne pas des résultats numériques bien différents de ceux de la nouvelle.

Nous pouvons, avec une approximation suffisante, admettre pour la vapeur, surtout lorsqu'elle est surchauffée, la loi de Gay-Lussac et poser

$$x'=x\frac{(1+\alpha z)}{1+\alpha z'}.$$

D'autre part le volume de vapeur qui était primitivement $\frac{1}{x'}$ est devenu $\frac{1+u}{x}$ et l'on a dépensé par suite le travail $P\left(\frac{1}{x'}-\frac{1+u}{x}\right)$ augmenté de celui $P.\frac{u}{\rho}$ qui est relatif à l'introduction de l'eau. On a donc

$$\Gamma_1=P\left(\frac{1}{x'}-\frac{(1+u)}{x}+\frac{u}{\rho}\right).$$

En remplaçant u et x' par les valeurs que nous venons de trouver, et négligeant le terme $\frac{u}{\rho}$, relativement très-petit, devant $\frac{u}{x}$, il vient

$$\Gamma_1=\frac{P}{x}\cdot\frac{\alpha(z'-z)}{1+\alpha z}\left(1-\frac{\frac{c}{\alpha}(1+\alpha z)}{a+bz-\theta}\right).$$

Ce travail, qui dépend du facteur α, est très-petit par rapport

à celui que nous allons déterminer, auquel il vient s'ajouter et qui est de l'ordre $\frac{P}{x}$. D'ailleurs dans les applications que nous avons à faire, z' et z restent inférieurs à 100 degrés. On peut donc, eu égard aux valeurs numériques de a, b, α, réduire, sans grande erreur, la formule ci-dessus à la suivante

$$(1) \qquad \Gamma_1 = \frac{P}{x}\alpha\left(1 - \frac{c}{a\alpha}\right)(z' - z);$$

de même que l'on peut prendre approximativement

$$u = \frac{c(z' - z)}{a}.$$

2. — *Condensation de la vapeur en la maintenant constamment à la même pression.* — Supposons maintenant que l'on continue à injecter de l'eau dans le cylindre de manière à condenser complétement la vapeur.

Soit w le poids de l'eau strictement nécessaire pour condenser totalement la vapeur; le volume initial étant $\frac{1+u}{x}$ et le volume final $\frac{1+u+w}{\rho}$, le travail extérieur dépensé est égal à $P\left(\frac{1+u}{x} - \frac{1+u+w}{\rho}\right)$, auquel il faut ajouter celui $P\frac{w}{\rho}$ qui correspond à l'introduction de l'eau. Il vient donc pour le travail dépensé que je désignerai par Γ_2,

$$\Gamma_2 = \frac{P}{x}(1+u)\left(1 - \frac{x}{\rho}\right),$$

et comme $\frac{x}{\rho}$ est très-petit par rapport à l'unité, on peut le négliger, et en prenant pour u sa valeur approchée $\frac{c(z'-z)}{a}$, il vient :

$$(2) \qquad \Gamma_2 = \frac{P}{x}\left[1 + \frac{c}{a}(z' - z)\right].$$

3. ***Expression du travail moléculaire correspondant à la condensation de la vapeur surchauffée.*** — Il est évident que la somme des deux expressions (1) et (2) représente le travail équivalent au travail moléculaire résistant qui résulte de la condensation de la vapeur diminué du travail moléculaire produit, dans l'eau injectée, par la variation de son volume due au passage de la température θ à la température z. Or ce dernier travail est très-petit et peut être négligé sans inconvénient. On peut donc considérer la somme des expressions (1) et (2) comme mesurant le travail moléculaire résistant auquel donne lieu la condensation de la vapeur, soit

$$(3)\quad \mathrm{r}_1+\mathrm{r}_2=\frac{\mathrm{P}}{x}[1+\alpha(z'-z)]=\frac{\mathrm{P}}{x}[1+0.004(z'-z)]\ (^*).$$

Il est bon de faire remarquer que la même formule s'applique également au cas où la température de l'eau après la condensation serait inférieure à z; car cela reviendrait à in-

(*) Pour se faire une idée nette de la grandeur du travail $\frac{\mathrm{P}}{x}$ correspondant à la condensation de 1 kilogramme de vapeur saturée, il suffit de jeter les yeux sur le tableau suivant :

			km.	chx.
$z = 20°$	......	$\frac{\mathrm{P}}{x} =$	13 835	= 184
$z = 40°$	......	$\frac{\mathrm{P}}{x} =$	14 694	= 196
P =	1 atmosphère	$\frac{\mathrm{P}}{x} =$	17 525	= 234
P =	2	$\frac{\mathrm{P}}{x} =$	18 465	= 246
P =	3	$\frac{\mathrm{P}}{x} =$	19 226	= 256
P =	4	$\frac{\mathrm{P}}{x} =$	19 642	= 262
P =	5	$\frac{\mathrm{P}}{x} =$	20 602	= 267
P =	50	$\frac{\mathrm{P}}{x} =$	25 412	= 345

troduire à la fin de la seconde opération une nouvelle quantité d'eau à θ°, et l'on reconnait facilement que l'on ne dépense de cette manière aucun travail appréciable.

La formule (3) n'est qu'approximative puisque nous l'avons établie en négligeant quelques termes, et en admettant que les vapeurs se comportent comme des gaz permanents, ce qui n'est pas très-exact : on conçoit par suite qu'elle puisse mieux représenter les résultats de l'expérience en donnant au coefficient de $z'-z$ une valeur ou un peu plus grande, ou un peu plus petite que 0,004. C'est pourquoi dans ce qui suit, nous la remplacerons par la suivante

$$(4) \qquad r_1 + r_2 = \frac{P}{x}[1 + \beta(z' - z)],$$

β étant une constante que l'on déterminera par la comparaison entre les résultats de l'expérience et ceux de la théorie.

§ 2. THÉORIE DE L'INJECTEUR.

4. Pour rendre notre langage plus clair, nous désignerons sous le nom de *tuyère* l'ajutage qui termine le tuyau de vapeur, et nous appellerons *lance* l'ajutage, de même diamètre que le précédent, qui envoie le jet fluide dans le récepteur.

L'aspiration de l'eau alimentaire, entre la lance et la tuyère, s'explique de la même manière que le jeu des trompes, le tirage dans les cheminées des locomotives, par la perte de force vive due à un changement brusque de vitesse et d'où résulte une réduction de pression.

L'eau pénètre dans l'espace compris entre les deux ajutages, par l'intervalle annulaire qu'ils déterminent et tourbillonne avec la vapeur qu'elle condense ; cet intervalle joue le rôle d'un véritable ajutage, et au débouché le liquide doit se contracter ; mais la contraction doit être détruite sur la paroi de la lance, qui constitue à proprement

parler, une fausse paroi; de sorte que le coefficient de contraction ne doit pas différer beaucoup de l'unité; et en effet la discussion des expériences dont nous avons parlé plus haut nous a conduit à admettre 0,97 pour la valeur de ce coefficient.

De la collision de l'eau et de la vapeur et de la condensation de cette dernière résulte une gerbe composée de globules d'un aspect perlé, séparés entre eux par des intervalles comparables à leurs propres dimensions, et qui n'éprouvent aucune résistance à se réunir lorsqu'on les reçoit dans un vase et que tout mouvement a cessé.

5. Soient (*fig.* 7, Pl. IX) bb' l'orifice de la tuyère;

ab, $a'b'$ les droits qui représentent le débouché de l'eau, lequel forme une surface conique perpendiculaire à la surface interne de la lance;

cd, $c'd'$ la section conique contractée;

ω' le débouché de l'eau $(ab, a'b')$;

ν le coefficient de dépense par cet orifice;

$p = 10\,334$ kil. la pression atmosphérique par mètre quarré de surface;

$\rho = 1\,000$ kil. le poids spécifique de l'eau rapporté au mètre cube;

h la hauteur ou charge d'eau sur l'orifice ω', négative si l'eau est aspirée en contre-bas de l'appareil;

$g = 9^{m},808$ l'accélération de la pesanteur;

Y la pression inconnue, rapportée à l'atmosphère, dans l'intervalle compris entre la lance et la surface $(cb, c'b')$;

V la vitesse de l'eau dans la section $(cd, c'd')$;

Q le poids d'eau dépensé par seconde;

on a

$$(1) \quad \left\{ \begin{aligned} Q &= \nu\omega' \sqrt{2g[p(1-Y)+h\rho]\rho} \\ V &= \sqrt{2g\left[\frac{p(1-Y)}{\rho}+h\right]}. \end{aligned} \right.$$

5. Soient maintenant;

ω la section de la tuyère et de la lance;

q le poids de vapeur dépensé par seconde;

v la vitesse de la vapeur dans la section ω;

n la pression exprimée en atmosphères, un peu au-dessus de la tuyère; elle est inférieure à la pression dans le générateur, d'une quantité qui dépend de la longueur de la conduite, de la nature des changements brusques de section qu'elle présente, et des déperditions de chaleur dans le trajet;

ϖ la densité ou poids spécifique de la vapeur saturée à la pression n;

μ un coefficient de dépense, fonction de n, donné par l'expérience.

On a

$$(2)\qquad \begin{cases} q = \mu\omega\sqrt{2gp(n-\mathrm{Y})\varpi} \\ v = \dfrac{q}{\mu\omega} = \sqrt{\dfrac{2gp(n-\mathrm{Y})}{\varpi}}. \end{cases}$$

En général la différence $1-\mathrm{Y}$ est petite par rapport à n, de sorte que l'on peut, sans grande erreur, substituer à ces équations les suivantes :

$$(2')\qquad \begin{cases} q = \mu\omega\sqrt{2gp(n-1)\varpi} \\ v = \dfrac{q}{\varpi\omega} = \mu\sqrt{\dfrac{2gp(n-1)}{\varpi}}. \end{cases}$$

6. L'observation n'accuse pas une contraction appréciable du jet globuliforme à la sortie de la lance, et s'il y en a une, elle est assez faible pour que nous puissions la négliger sans inconvénient. Il nous est également permis de considérer, avec une approximation suffisante, le cosinus de la moitié de l'angle du cône de la tuyère comme égal à l'unité.

Cela posé, appelons w la vitesse du jet, et appliquons, comme on le fait en hydraulique, le principe de la projection des quantités de mouvement, au fluide compris entre une

section *fg* du jet, la surface *cdbb'd'c'*, et la partie inférieure de la surface interne de la lance; on trouve:

(3) $$\frac{(Q+q)w}{g}-\frac{q}{g}v-\frac{Q}{g}V=\omega(n-1)p.$$

Des équations (2'), on tire:

$$\omega(n-1)p=\frac{1}{2\mu}\frac{qv}{g},$$

et la précédente devient,

(3') $$(Q+q)w=qv\left(1+\frac{1}{2\mu}\right)+QV.$$

Cette équation diffère de celle qui a été posée par les auteurs précités par le terme $\frac{qv}{2\mu}$ qui est relatif aux impulsions des pressions d'amont et d'aval. Or μ diminue quand n augmente, et l'on voit que lorsqu'il descend au-dessous de 0,500 l'erreur commise peut être considérable.

7. Les formules (1), (2) ou (2'), (3) ou (3') sont les seules que l'on puisse établir en partant des principes ordinaires de la mécanique et des règles de l'hydraulique. Elles sont insuffisantes pour résoudre la question, puisque, en définitive, elles se réduisent à trois équations entre les quatre inconnus Q, q, Y, w. Si la gerbe qui sort de la tuyère avait la densité ρ de l'eau, on aurait $Q+q=w\omega\rho$; mais la vitesse w est bien plus considérable que celle qui est donnée par cette équation, car autrement le jet ne pourrait pas rentrer dans la chaudière. Cette supposition n'est donc pas admissible (*).

Cependant on peut, en partant des recherches exposées précédemment sur le travail correspondant à la condensation de la vapeur, arriver à une nouvelle relation, dont

(*) Voyez pour plus de détails sur ce sujet, la relation des expériences placée à la fin du mémoire.

l'exactitude, par ses conséquences, devra être confirmée par l'expérience.

Considérons la massse fluide limitée au niveau de la bâche d'alimentation, à l'orifice de la tuyère et à la section *ef* de la gerbe, et posons l'équation des forces vives relativement à la modification qui s'établit dans le système, au bout d'un élément du temps que l'on peut prendre égal à l'unité, puis qu'il se trouve en facteur commun dans les deux membres de l'équation ; on aura, en appelant Δ la densité de la gerbe

$$(Q+q)\frac{w^2}{2g}-\frac{qv^2}{2g}=Qh+\frac{qnp}{\varpi}+Q\frac{p}{\rho}-(Q+q)\frac{p}{\Delta}-X,$$

X désignant le travail des actions moléculaires qui se produisent dans l'intervalle compris entre les deux ajutages. Or si la vapeur ne se condensait pas, X se composerait de la somme des deux quantités $q\frac{(v-w)^2}{2g}$, $Q\frac{(V-w)^2}{2g}$, respectivement relatives à la perte de force vive de la vapeur et de l'eau, et auxquelles il faut ajouter un terme représentant le travail moléculaire relatif à la condensation. Mais la forme et la valeur de ce terme dépendent de la manière dont la condensation se produit, et comme nous rentrons ici dans l'inconnu, nous en sommes réduits aux hypothèses ou aux conjectures. Le moyen le plus simple de concevoir ce phénomène m'a paru être le suivant. La vapeur en sortant de la tuyère passe brusquement de la pression n à la pression plus faible Y, relativement à laquelle elle devient surchauffée. Avant de se condenser, elle est naturellement saturée, et je suppose que sa température est alors la même que celle du milieu dans lequel elle tourbillonne, c'est-à-dire que celle de la gerbe globulaire. En partant de là, la tension de la vapeur sur le point de se condenser sera différente de Y et même inférieure, d'après les valeurs que l'expérience indique pour cette pression et la tempéra-

ture de la gerbe; cette conséquence paraît d'accord d'ailleurs avec quelques observations sur la pression estimée dans la zone des tourbillonnements, à la suite desquelles nous avons dû mesurer la pression Y dans le plan même de l'orifice de la tuyère, c'est-à-dire dans la région où la veine de vapeur est encore intacte, et ne s'est pas modifiée au contact de l'eau.

La vapeur, en passant de la pression n à la pression Y, produit un travail et doit par conséquent se refroidir; mais lorsqu'elle pénètre dans la zone tournoyante, il n'est nullement prouvé qu'en prenant la tension à laquelle elle doit se saturer, elle se détende encore en produisant un travail. Il est possible qu'il se présente constamment, à cette vapeur, à mesure qu'elle arrive, un espace suffisamment grand pour que cet abaissement de pression ait lieu spontanément, sans extension de paroi, et par conséquent sans abaissement de température, à la manière dont les choses se passent dans l'expérience du double ballon de M. Joule répétée par M. Regnault. Je m'arrêterai à cette nouvelle hypothèse, à laquelle j'ai été conduit par la discussion des faits de l'expérience.

Soient donc :

T la température de la vapeur saturée à la pression n;

z' la température qu'elle prend lorsqu'elle se détend à la pression Y;

z la température de la gerbe;

y la tension en atmosphères de la vapeur saturée à la température z.

On a, d'après le n° 3, pour le travail dû à la condensation de la vapeur, rapporté à l'unité de poids :

$$p\frac{y}{x}[1+\beta(z'-z)];$$

par suite

$$X = Q\frac{(V-w)^2}{2g} + q\frac{(v-w)^2}{2g} + qp\frac{y}{x}[1+\beta(z'-z)].$$

Portant cette valeur dans l'équation ci-dessus, on trouve :

$$\frac{w}{g}[(Q+q)w-QV-qv]+Q\frac{V^2}{2g}=\begin{cases}Qh+Q\frac{p}{\rho}+q\frac{np}{\varpi}-(Q+q)\frac{p}{\Delta}\\ -qp\cdot\frac{y}{x}[1+\beta(z'-z)]\end{cases}$$

d'où, en vertu de l'équation (3'),

$$w\omega(n-1)p+\frac{QV^2}{2g}=Qh+Q\frac{p}{\rho}+q\frac{np}{\varpi}-(Q+q)\frac{p}{\Delta}-$$
$$-qp\frac{y}{x}[1+\beta(z'-z)].$$

D'autre part on a :

$$\omega w\Delta=Q+q,\quad \text{d'où}\quad \frac{Q+q}{\Delta}=\omega w;$$

de sorte qu'il vient :

$$w\omega np=-Q\left(\frac{V^2}{2g}-h-\frac{p}{\rho}\right)+q\frac{np}{\varpi}-qp\frac{y}{x}[1+\beta(z'-z)];$$

enfin, en ayant égard à la seconde formule (1), cette équation se réduit à

$$w=\frac{QY}{n\omega\rho}+\frac{q}{\omega\varpi}\left\{1-\frac{y}{n}\frac{\varpi}{x}[1+\beta(z'-z)]\right\}.$$

La vitesse $\frac{Q}{\omega\rho}$ que posséderait l'eau d'alimentation, en traversant l'orifice ω, est relativement faible comme l'indique l'expérience, et comme elle est multipliée par la fraction $\frac{Y}{n}$ on peut sans inconvenient négliger le premier terme de w et écrire tout simplement :

$$w=v\left\{1-\frac{y}{n\delta}\frac{\varpi}{x}[1+\beta(z'-z)]\right\}.$$

En admettant approximativement que les vapeurs suivent les lois de Marcitte et de Gay-Lussac, on peut poser :

$$\frac{y\varpi}{nx}=\frac{1+\alpha z}{1+\alpha T},$$

d'où

(4) $$w = v\left\{1 - \frac{1+\alpha z}{1+\alpha T}[1+\beta(z'-z)]\right\},$$

et cette valeur portée dans l'équation (3') donne :

(5) $$(Q+q)v\left\{1 - \frac{1+\alpha z}{1+\alpha T}[1+\beta(z'-z)]\right\} - qv\left(1+\frac{1}{2\mu}\right) = QV;$$

d'où l'on déduira V ou $Q = \nu\omega' V$.

8. Dans l'équation relative aux échanges de chaleur, lorsqu'il s'agit de la condensation de la vapeur, l'influence du travail des pressions et de l'inertie est peu importante (*), de sorte que l'on peut poser, conformément à l'ancienne théorie de la chaleur,

(6) $$(Q+q)[z-\theta] + q\theta = q(606,5 + 0,305T).$$

Les formules (2') donnant les valeurs de q et de v, les équations (5) et (6) permettront de déterminer les inconnues Q et z.

9. *Comparaison avec l'expérience.*

Posons

$$\frac{V}{v} = \varepsilon,\ \frac{Q}{q} = \eta,$$

(7) $$k = 1 + \beta(z'-z),$$

il vient, en prenant $\nu = 1$,

(8) $$\varepsilon\eta = \eta\frac{Q}{\omega'\rho \cdot \dfrac{q}{\omega\varpi}} = \frac{\eta^2 \cdot \varpi}{1000 \cdot \dfrac{\omega'}{\omega}};$$

(9) $$z = \frac{606,5 + 0,305T + \eta\theta}{1+\eta};$$

(10) $$k = \frac{1+\alpha T}{1+\alpha z}\left(1 - \frac{\varepsilon\eta + 1 + \dfrac{1}{2\mu}}{1+\eta}\right).$$

(*) On peut s'en rendre compte en jetant un coup d'œil sur les applications numériques qui se trouvent dans le mémoire de M. Reech.

Dans les expériences que j'ai exécutées avec M. Minary, la différence $1 - Y$ a toujours été une fraction assez faible, de sorte que nous avons pu, par approximation regarder z' comme uniquement fonction de T, ou comme étant constante dans chaque série.

La comparaison entre les formules précédentes, et ces expériences, en laissant de côté celles pour lesquelles il pouvait y avoir quelques doutes, conduit à prendre $\beta = 0{,}0044$, valeur peu différente de celle 0,0040 que nous avions assignée à priori, puis,

$z' =$	81°,5	pour $n =$	1,39
	86	....	1,95
	92	....	2,51
	94	....	3,04
	98	....	3,60
	99	....	4,20
	98	....	4,79
	95	....	5,37 (*)

Les tableaux ci-après mettent en évidence les faibles différences entre les valeurs de k déduites de l'expérience au moyen de la formule (10) et celles qui résultent des valeurs numériques précédentes et de l'emploi de la formule (7). Les valeurs de μ ont été fournies par nos expériences spéciales sur l'écoulement des vapeurs, celles de T et ϖ ont été déduites des tables au moyen d'un calcul simple.

(*) Les valeurs numériques ne représentent pas la température du jet de vapeur quand il s'est complétement épanoui dans l'air, mais bien la température prise à une très-faible distance de l'orifice, lorsque le jet affecte encore une forme régulière. A l'aide de lames fusibles taillées en biseau, nous nous sommes rendu assez bien compte M. Minary et moi, du faible excès de 100°, sur la température d'un jet de vapeur, très-près de l'orifice, quelle que soit la pression dans le générateur.

n	ω	T	μ	z'	$\frac{\omega'}{\omega}$	θ	η	x d'après la formule (9).	k d'après la formule (10).	k d'après la formule (7).	Différence.
1,39	0,791	109°,5	0,808	81°,5	1,01	20°	23,69	45°,1	1,120	1,161	—0,035
					»	30	22,23	56,2	1,073	1,068	+ 0,005
					2,27	15	49,61	27,3	1,233	1,238	— 0,005
					»	20	47,723	32,7	1,208	1,215	—0,007
					»	30	43,847	43,6	1,162	1,207	—0,045
					»	40	35,916	56,2	1,108	1,111	—0,003
					»	50	24,831	72,8	1,035	1,038	—0,003
					3,76	20	49,151	32,4	1,219	1,216	+ 0,003
					»	30	48,732	42,3	1,179	1,172	+ 0,007
					»	40	48,886	52,1	1,134	1,129	+ 0,005
					5,69	20	40,21	35,0	1,205	1,205	0,000
					»	30	41,31	44,4	1,167	1,163	+ 0,004
					»	40	41,74	54,0	1,121	1,121	—0,009
					»	50	43,69	63,2	1,081	1,081	+ 0,019
1,95	1,090	119,67	0,627	86	2,27	15	33,79	32,9	1,218	1,234	—0,016
					»	20	33,844	37,9	1,208	1,205	+ 0,003
					»	30	30,649	49,4	1,147	1,161	—0,014
					»	40	25,439	62,8	1,089	1,102	—0,013
					3,76	20	45,701	33,3	1,239	1,232	+ 0,007
					»	30	47,409	42,7	1,199	1,191	+ 0,008
					»	40	48,379	52,2	1,162	1,149	+ 0,013
					5,69	20	42,650	34,3	1,237	1,227	+ 0,010
					»	30	44,360	43,8	1,197	1,181	+ 0,016
					«	40	44,430	53,3	1,161	1,145	+ 0,016
					»	50	41,250	64,4	1,117	1,096	+ 0,021
2,51	1.371	128,12	0,562	92	3,76	20	41,605	34,7	1,249	1,252	— 0,003
					»	33	42,053	44,3	1,195	1,210	— 0,015
					5,69	20	41,530	34,5	1,257	1,253	+ 0,007
					»	30	41,760	44,4	1,214	1,209	+ 0,005
					»	40	40,000	54,8	1,172	1,167	+ 0,008
					»	50	29,710	69,4	1,103	1,099	+ 0,004
3,04	1,634	134,67	0,540	94	3,76	20	37,434	36,3	1,254	1,254	0,000
					»	30	34,042	47,8	1,203	1,203	0,000
					5,69	20	37,740	36,2	1,263	1,254	+ 0,009
					»	30	36,170	46,6	1,217	1,208	+ 0,009
					»	40	29,610	59,8	1,154	1,150	+ 0,004
					»	50	24,420	75,5	1,074	1,081	— 0,007
3,60	1,909	140,55	0,514	98	3,76	20	30,00	40,3	1,240	1,254	—0,014
					5,69	20	35,28	37,3	1,270	1,297	—0,027
					»	30	32,27	48,2	1,218	1,209	+ 0,009
					»	40	27,76	61,2	1,158	1,162	—0,004
4,20	1,99	146,19	0,501	99,0	3,76	20	27,700	42,0	1,242	1,251	—0,009
					5,69	20	28,900	41,1	1,257	1,255	+ 0,002
					»	30	26,090	53,0	1,199	1,201	— 0,002
4,79	2,03	151,30	0,486	98	3,76	40	19,208	51,3	1,183	1,205	— 0,022
					5,69	20	23,730	45,5	1,233	1,231	+ 0,002
					»	30	21,750	57,4	1,186	1,179	+ 0,007
5,37	2,04	155,54	0,481	95	3,76	20	15,058	58,1	1,136	1,162	+ 0,026
					5,69	20	18,870	51,9	1,192	1,190	+ 0,002
					»	30	17,49	63,7	1,146	1,139	+ 0,007

On voit que l'accord entre les valeurs de k déduites des formules (7) et (10) est très-satisfaisant, si l'on a égard au degré d'exactitude que comporte le mode d'expérimentation adopté, à l'incertitude qui existe sur quelques-uns des éléments numériques employés, notamment les densités, et enfin à la nature approximative de ces formules.

10. *Formules générales.* — L'élimination de $\varepsilon\eta$, k, z, entre les équations (7), (8), (9), (10) conduit à une équation du 3ᵉ degré en η,

$$a\eta^3 + A\eta^2 + B\eta + C = 0, \tag{11}$$

dont les coefficients sont donnés par

$$a = \frac{\varpi}{1000\,\frac{\omega'}{\omega}};$$

$$(12)\left\{\begin{aligned}
A &= a - 1 + \frac{1+\beta z'}{1+\alpha T} + \theta\left[\frac{\alpha(1+\beta z') - \beta}{1+\alpha T}\right] - \frac{\alpha\beta\theta^2}{1+\alpha T};\\
B &= 2\,\frac{(1+\beta z')}{1+\alpha T} + \frac{1}{2\mu} - 1 + \frac{(\alpha-\beta+\alpha\beta z')[606{,}5+0{,}305T]}{1+\alpha T} +\\
&\quad + \left[\frac{\alpha-\beta+\alpha\beta z' - 2\alpha\beta(606{,}5+0{,}305T)}{1+\alpha T}\right]\theta;\\
C &= \frac{1+\beta z'}{1+\alpha T} + \frac{1}{2\mu} + \frac{(606{,}5+0{,}305T)[\alpha-\beta+\alpha\beta z']}{1+\alpha T} -\\
&\quad - \alpha\beta\,\frac{(606{,}5+0{,}305T)^2}{1+\alpha T}.
\end{aligned}\right.$$

Le coefficient A, vu la petitesse de a et de $\beta\theta$ se réduit approximativement à $-\alpha(T-z')$ et est par conséquent négatif; C est également négatif ou de même signe que son dernier terme qui est bien supérieur à la somme des deux autres; B prend le signe de son premier terme qui est supérieur aux autres, et est positif. L'équation (11), ayant son dernier terme négatif et trois variations, a au moins une racine positive, et ses trois racines sont positives si elles sont réelles.

Si ce dernier cas se présente, la nature de la question permettra de distinguer celle de ces racines qui lui convient, et nous donnerons plus loin un exemple numérique pour montrer de quelle manière on fait disparaître toute ambiguïté.

Si l'on se reporte au n° 1, on voit que z est au plus égal à z', ou

$$606{,}5 + 0{,}305\mathrm{T} + \eta\theta \leqq z'(1+\eta);$$

d'où

$$\eta \geqq \frac{606{,}5 + 0{,}305\mathrm{T} - z'}{z' - \theta}.$$

Ainsi l'appareil ne fonctionnera, dans une circonstance déterminée, qu'autant que la valeur de η tirée de l'équation (11) satisfera à cette condition. En désignant par η' la valeur minimum de η nous aurons :

$$(13) \qquad \eta' = \frac{606{,}5 + 0{,}305\mathrm{T} - z'}{z' - \theta};$$

La vitesse du jet étant :

$$(14) \qquad w = v\left\{1 - \frac{1+\alpha z}{1+\alpha\mathrm{T}}[1+\beta(z'-z)]\right\},$$

et le débit par seconde, $Q+q$, on a pour la densité du jet :

$$\Delta = \frac{Q+q}{\omega w} = \frac{Q+q}{\omega v\left\{1 - \frac{1+\alpha z}{1+\alpha\mathrm{T}}[1+\beta(z'-z)]\right\}}$$

ou

$$(15) \qquad \frac{\Delta}{\varpi} = \frac{\mu(1+\eta)}{1 - \frac{1+\alpha z}{1+\alpha\mathrm{T}}\left[1+\beta(z'-z)\right]}.$$

Le tableau suivant donne les valeurs A, B, C, η' pour des valeurs de n croissant par 1/2 atmosphère depuis 1,5 atmosphère jusqu'à 5 atmosphères. Les valeurs de T ont été déduites des tables ordinaires, celles de μ de nos expériences sur l'écoulement des vapeurs, par l'interpolation, et celles de

z' des chiffres trouvés plus haut, par la méthode des différences proportionnelles.

n	μ	T	z'	A	B	C	η'
1,5	0,712	112°	82°	$a - \frac{7\theta}{10^4} - \frac{12\theta^2}{10^6} - 0{,}060$	$1.935 - 0{,}015\theta$	-2.841	$\frac{558{,}7}{82 - \theta}$
2	0,612	121	86,5	$a - \frac{7\theta}{10^4} - \frac{12\theta^2}{10^6} - 0{,}072$	$2.150 - 0{,}015\theta$	-2.621	$\frac{556{,}9}{86{,}5 - \theta}$
2,5	0,587	128	92	$a - \frac{7\theta}{10^4} - \frac{12\theta^2}{10^6} - 0{,}071$	$2.223 - 0{,}015\theta$	-2.494	$\frac{553{,}5}{92 - \theta}$
3	0,538	134	94	$a - \frac{7\theta}{10^4} - \frac{12\theta^2}{10^6} - 0{,}079$	$2.318 - 0{,}014\theta$	-2.344	$\frac{553{,}4}{94 - \theta}$
3,5	0,519	139,5	98	$a - \frac{6\theta}{10^4} - \frac{11\theta^2}{10^6} - 0{,}087$	$2.342 - 0{,}014\theta$	-2.280	$\frac{551{,}4}{98 - \theta}$
4	0,503	144	99	$a - \frac{6\theta}{20^5} - \frac{11\theta^2}{10^6} - 0{,}089$	$2.355 - 0{,}014\theta$	-2.228	$\frac{551{,}4}{99 - \theta}$
4,5	0,490	149	98,5	$a - \frac{6\theta}{10^4} - \frac{11\theta^2}{10^6} - 0{,}100$	$2.352 - 0{,}014\theta$	-2.190	$\frac{553{,}1}{98{,}5 - \theta}$
5	0,484	153	96,0	$a - \frac{6\theta}{10^4} - \frac{11\theta^2}{10^6} - 0{,}112$	$2.315 - 0{,}014\theta$	-2.162	$\frac{557{,}1}{96 - \theta}$

11. *Application à un cas particulier.* — Supposons que l'on veuille construire un injecteur capable d'alimenter une chaudière présentant une surface de chauffe de 30 mètres quarrés à la pression de 5 atmosphères ; si l'on admet que chaque mètre quarré de surface de chauffe vaporise 20 kil, d'eau par heure, la consommation par minute sera 10 kil., chiffre que nous porterons à 15, pour nous trouver au-dessus du strict nécessaire. Dans le cas actuel, on a : $Q = \frac{15}{60} = 0^k{,}25$, $\varpi = 2{,}574$; supposons de plus $\theta = 15°$ et $\frac{\omega'}{\omega} = 3$, il vient :

$$a = 0{,}000858 \quad \eta' = 6{,}9$$

$$\frac{858}{10^6}\eta^3 - 0{,}1226\eta^2 + 2{,}200\eta - 2{,}162 = 0.$$

Cette équation a une racine comprise entre 1 et 2 qui doit être rejetée comme étant inférieure à la limite η' ; pour $\eta = 10$ comme pour $\eta = 2$, le premier membre de l'équation est positif, mais pour $\eta = 20$, on trouve $-0{,}34$; il y a

donc une racine un peu inférieure à 20. Pour $\eta = 100$, le premier nombre de l'équation reste négatif, mais il devient positif pour $\eta = 143$. La racine comprise entre ces deux dernières limites doit être rejetée comme surpassant de beaucoup la limite supérieure des valeurs de η données par l'expérience, et en général on devra prendre la moyenne racine positive de l'équation (11). La méthode d'approximation de Newton donne pour la valeur cherchée de η,

$$\eta = 19,777 = \frac{Q}{q},$$

et comme $Q = 0^k,25$, il vient,

$$q = 0^k,0126;$$

or

$$q = \omega \times 0,484\sqrt{2 \times 9.808 \times 4 \times 10334 \times 2,574};$$

d'où

$$\omega = 18^{mm^2},02,$$

et pour le diamètre correspondant $4^{mm}.8$.

Si au lieu de supposer $\theta = 15°$, on prend $\theta = 50°$, on trouve :

$$\frac{858}{10^6}\eta^3 - \frac{169}{10^8}\eta^2 + 1,615\eta - 2,162 = 0.$$

Cette équation a une racine comprise entre 2 et 3, la seconde entre 3 et 10, qui seule peut convenir à la question, et la troisième supérieure à 100, qui est inadmissible. Or dans le cas actuel, on a, $\eta' = 11,06$, valeur supérieure à la moyenne racine ; donc l'appareil ne doit pas pouvoir fonctionner, ce qui est conforme à l'expérience.

12. *Expression de la température z' en fonction de $\frac{Y}{n}$.* — Dans ce qui précède nous avons considéré z' constant pour toutes les expériences correspondant à la même valeur de n, en raison de ce que dans les expériences que nous avons discutées, Y est très-peu voisin de l'unité, ce qui est dû à la disposition particulière de l'appareil employée, et

notamment à l'absence d'une colonne d'aspiration. Cette hypothèse est d'autant plus admissible que l'erreur commise est multipliée par le facteur 0,0044 qui en réduit notablement l'importance.

Cependant il sera plus exact de considérer les valeurs obtenues pour z', comme celles qui résultent de l'abaissement de la pression n, non à une atmosphère, mais à la moyenne des pressions Y observées dans toutes les expériences qui correspondent à n. C'est ainsi que l'on a formé le tableau suivant ;

n	MAXIMUM de 760 (1—Y).	MINIMUM de 760 (1—Y).	MOYENNE de Y.	MOYENNE de $\frac{Y}{n}$
1,39	145	12	0,90	0,6474
1,95	114	23	0,91	0,4667
2,51	64	19	0,95	0,3785
3,04	71	19	0,94	0,3092
3,60	68	39	0,93	0,2583
4,20	64	46	0,93	0,2214
3,79	52	35	0,95	0,1983
5,37	27	20	0,97	0,1806

La loi de la détente des vapeurs lorsqu'elles n'éprouvent ni perte ni gain de chaleur n'est pas connue. Toutefois, une discussion m'a fait reconnaître que la température des vapeurs doit décroître moins rapidement que celle du gaz pour les mêmes réductions de pression.

Nous admettrons, faute de mieux, que les vapeurs se comportent de la même manière que les gaz. Si donc on représente par ε le rapport des chaleurs spécifiques de la vapeur saturée à n atmosphère, sous pression constante et sous volume constante, on a :

$$\frac{1+\alpha z'}{1+\alpha T}=\left(\frac{Y}{n}\right)^{1-\frac{1}{\varepsilon}}.$$

Cette formule suppose simplement que le rapport ε est indépendant de z et de Y, mais rien ne s'oppose à ce qu'il varie avec n.

Si l'on pose $m = 1 - \frac{1}{\varepsilon}$, et si l'on remarque que pour $\alpha = 0{,}004$, on a $\frac{1}{\alpha} = 250$, il vient :

$$(16) \qquad \left(\frac{Y}{n}\right)^m = \frac{250 + z'}{250 + T}.$$

En appliquant cette formule aux valeurs de z' trouvées au n° 9 correspondant aux valeurs de $\frac{Y}{n}$ comprises dans le tableau précédent, on peut calculer les différentes valeurs de m et de ε, et c'est ainsi que nous avons obtenu les résultats suivants :

n'	m	ε
1,39	0,1860	1,228
1,95	0,1253	1,143
2,51	0,1034	1,115
3,04	0,0952	1,105
3,60	0,0852	1,093
4,20	0,0841	1,092
4,79	0,0887	1,097
5,37	0,0944	1,104

On voit que les valeurs de ε sont inférieures à celle de 1,31, que l'on obtient en s'appuyant sur la théorie de l'équivalent mécanique de la chaleur, en prenant égale à 0,475 d'après M. Regnault la chaleur spécifique de la vapeur d'eau éloignée du point de saturation sous pression constante. Le chiffre de 1,31 doit se rapporter aux vapeurs lorsqu'elles sont suffisamment éloignées du point de saturation, et si l'on a égard à la manière dont ε croît quand n diminue, il y a lieu de supposer que ce chiffre doit assez bien convenir aux basses pressions ; ce qui n'aurait rien d'étonnant en observant qu'alors les vapeurs suivent à peu près les lois de Mariotte et de Gay-Lussac.

La méthode des différences proportionnelles permet de déduire des valeurs précédentes de m celles qui correspondent aux valeurs de n croissant de 1/2 en 1/2 atmosphère

de 1 1/2 à 5 atmosphères, et c'est ainsi que l'on obtient :

n	m
1,50	0,1741
2,00	0,1199
2,50	0,1038
3,00	0,0955
3,50	0,0870
4,00	0,0845
4,50	0,0864
5,00	0,0908

13. ***Limite inférieure de la pression entre les deux ajustages et maximum de la hauteur d'aspiration.*** — Si l'injecteur aspire l'eau d'alimentation à un niveau inférieur, il peut se faire que Y ait une valeur assez différente de l'unité pour qu'il ne soit plus permis de négliger la différence $1 - Y$, ou de considérer z' comme uniquement fonction de n. La seule question importante qui se présente ici consiste à déterminer la limite supérieure de la colonne d'aspiration ou la limite inférieure de Y.

La limite inférieure de Y correspondra à la plus faible valeur de z', c'est-à-dire à $z' = z$. Dans ce cas les formules (9) et (10) deviennent :

$$z = z' = \frac{606,5 + 0,305T + \eta\theta}{1 + \eta},$$

$$\frac{1 + \alpha z}{1 + \alpha T} = \frac{\eta - \eta^2 a - \frac{1}{2\mu}}{1 + \eta},$$

en continuant à désigner par a la quantité $\dfrac{\varpi}{1000\dfrac{\omega'}{\omega}}$.

L'élimination de z donne

$$(17)\qquad \eta^2 a - \eta\alpha\frac{(T - \theta)}{1 + \alpha T} + \frac{1}{2\mu} + \alpha\frac{(606,5 + 0,305T)}{1 + \alpha T} = 0,$$

équation dont on prendra la plus petite racine.

Si l'on pose :

$$A' = -\alpha\frac{(T - \theta)}{1 + \alpha T}, \quad B' = \frac{1}{2\mu} + \alpha\left(\frac{606,5 + 0,305T}{1 + \alpha T}\right),$$

les valeurs de A' et de B' pour les diverses valeurs de n qui se présentent dans les applications sont données par le tableau suivant.

n	A'	B'
1,50	$-0,002762(112-\theta)$	2,381
2,00	$-0,002688(121-\theta)$	2,546
2,50	$-0,002645(128-\theta)$	2,559
3,00	$-0,002604(134-\theta)$	2,615
3,50	$-0,002567(139,5-\theta)$	2,629
4,00	$-0,002538(144-\theta)$	2,645
4,50	$-0,002506(149-\theta)$	2,653
5,00	$-0,002481(158-\theta)$	2,643

Reprenons l'exemple du n° 11 et supposons $n=5, \theta=15$ $\frac{\omega'}{\omega}=3, \omega=\frac{18,02}{10^6}$, on a $a=\frac{858}{10^6}$ et l'équation (17) devient

$$\frac{858}{10^6}\eta^2-0,342\eta+2,643=0,$$

et sa plus petite racine est $\eta=7,92$; la valeur correspondante de z ou z' est $z'=86°,54$ et la formule (16) donne $Y=0,659$. Le poids de vapeur dépensé étant sensiblement le même que pour $Y=1$, et Q étant égal dans ce dernier cas à 0,25 (n° 11), on peut en considérant Q comme proportionnel à η, en déduire la valeur par la proportion $Q=0,25\times\frac{7,92}{19,777}=0^k,10.$

Enfin la première formule (1) du n° 5 donne

$$(18) \qquad h=\frac{p}{\rho}(1-Y)-\frac{1}{2g}\left(\frac{Q}{\nu\rho\omega'}\right)^2;$$

En y supposant $p=10343$ kil., $\rho=1000$ kil. $g=9,808$ $\omega'=\frac{54,06}{10^6}, \nu=0,97, Q=0^k.10$, on trouve pour la limite maximum de la colonne d'aspiration

$$h=3^m,532.$$

Supposons encore, $n=2,50, \frac{\omega'}{\omega}=3,76, \omega=\frac{9,62}{10^6}, \theta=20°$, on trouve

$$\frac{365}{10^6}\eta^2-0,286\eta+2,559=0;$$

d'où $\eta = 12,24$, $z = 48,77$, $Y = 0,6761$. D'autre part le poids de vapeur qui s'écoule étant sensiblement le même que si l'écoulement avait lieu dans l'atmosphère, on a $q = 0,00381$, d'où $Q = 0,0466$ et enfin $h = 3,256$.

Les deux valeurs numériques de h que nous venons de trouver, sont très-sensiblement égales à celles que donne l'expérience; cependant elles sont un peu plus fortes, cela tient d'abord à ce que nous avons négligé les frottements dans le tuyau d'élévation, et les pertes de force vive dues aux changements brusques de section dans le trajet de l'eau de la bâche d'alimentation à l'appareil, et pour tenir compte de ces éléments, il faudrait multiplier Q dans l'équation (18) par un facteur plus grand que l'unité. De plus, l'instabilité du jeu de l'appareil pour des hauteurs d'aspiration voisines de la limite, peuvent fort bien s'opposer à ce que l'on puisse s'approcher de très-près de cette limite.

L'accord sensible que nous venons de signaler entre l'expérience et la théorie paraît indiquer que la formule (16) qui résulte d'une assimilation hypothétique, représente d'une manière satisfaisante la relation qui existe entre Y et z', pour les valeurs de ces variables comprises entre les limites de l'application.

14. *Du récepteur.* — Supposons que le récepteur soit placé verticalement, qu'il ait la forme légèrement conique qui lui est propre, que sa petite ouverture, munie extérieurement d'une embouchure évasée, ait le même diamètre que la lance ou la gerbe, enfin qu'il communique par un tuyau avec la partie inférieure d'une capacité contenant de l'eau, dont la pression soit maintenue à n' atmosphères, et qui débite à mesure par un moyen quelconque l'eau qu'elle reçoit de l'injecteur. Nous ferons abstraction de la soupape de refoulement dont nous n'avons pas à nous occuper.

Pour $n' = 1$, le récepteur n'aura aucune influence sur la gerbe qui conservera sa forme géométrique sur une certaine longueur, au delà de laquelle elle s'épanouira en une

masse de globules distincts. Si l'on fait croître n', la gerbe éprouvant une résistance plus considérable dans son mouvement, tendra à se dilater en perdant de sa vitesse longitudinale. Pour une valeur de n' suffisamment grande, il se produira un remous dû à la collision de la gerbe avec la masse d'eau qu'elle renouvelle sans cesse. Le niveau de ce remous ira en s'élelevant à mesure que n' augmentera, et lorsqu'il aura atteint l'embouchure, l'introduction sera sur le point de ne plus pouvoir se faire. Actuellement, si la gerbe était liquide, le remous disparaîtrait, et l'on retomberait sur le fonctionnement des ajutages divergents. Mais comme la densité de la gerbe est inférieure à celle de l'eau, le rapprochement de ses éléments matériels qui doit la transformer en liquide, correspond à une perte de travail ou de force vive dont il faut tenir compte. Il peut se faire d'ailleurs, comme nous allons le voir, qu'en réduisant l'orifice du récepteur, l'introduction puisse s'obtenir pour une pression supérieure à la limite ci-dessus de n', ce qui s'accorderait avec les faits observés.

Admettons que l'ouverture d'arrivée de l'eau dans la capacité soit assez grande pour que la vitesse correspondante soit négligeable. Désignons par u la vitesse de la première tranche liquide au delà du remous, et conservons les notations adoptées plus haut; on a, en négligeant l'influence dc la pesanteur, ce qui est permis,

$$-\frac{w^2}{2g}=\frac{p}{\Delta}-\frac{n'p}{\rho}-\frac{(w-u)^2}{2g};$$

d'où

$$(a) \qquad (2w-u)u=2gp\left(\frac{n'}{\rho}-\frac{1}{\Delta}\right),$$

et

$$u=w\left[1\pm\sqrt{1-\frac{2gp\left(\frac{n'}{\rho}-\frac{1}{\Delta}\right)}{w^2}}\right].$$

La seconde racine seule est admissible, car la formation du du remous suppose $w>u$.

Pour que la vitesse u soit réelle il faut que

(19) $$w > \sqrt{2gp\left(\frac{n'}{\rho} - \frac{1}{\Delta}\right)},$$

condition sur laquelle nous reviendrons plus loin et que nous supposerons remplie quant à présent,

Soit x le rapport de la section correspondant à la vitesse u, à celle de la gerbe ω, l'équation de continuité est $ux\rho = w\Delta$, par suite,

(20) $$x = \frac{\Delta}{\rho}\left[\frac{1}{1 - \sqrt{1 - \frac{2gp}{w^2}\left(\frac{n'}{\rho} - \frac{1}{\Delta}\right)}}\right].$$

Si $\frac{n'}{\rho} < \frac{1}{\Delta}$ cette formule n'est pas applicable puisque l'équation (a) donnerait $u > 2w$; mais on se trouve dans cette période qui précède les remous réguliers, et où la gerbe va se perdre en tournoyant par globules séparés dans la masse liquide; par conséquent l'introduction sera possible en donnant à l'orifice du jet son maximum ω. Si en faisant croître n', on arrive à $x > 1$, l'appareil fonctionnera également; en donnant à l'ouverture du récepteur la section ω, le remous aura lieu dans l'intérieur du tube divergent.

Mais si $x < 1$, il faudra pour que l'introduction soit possible, que l'ouverture du récepteur soit inférieure à celle du jet.

Ces conséquences sont conformes à l'observation, car il arrive qu'en faisant subir une réduction à la pression dans la chaudière, on ne peut plus faire fonctionner l'injecteur qu'en remplaçant le récepteur par un autre d'un plus petit diamètre.

Plaçons-nous maintenant au point de vue de l'application, en supposant que les tuyaux de communication de l'injecteur avec la chaudière soient assez courts pour que l'on puisse négliger les pertes de pression dues aux frottements. On a, dans le cas actuel, $n' = n$, et, en appelant γ le

rapport de la vitesse w de la gerbe, à celle v de la vapeur, il vient :

$$w^2 = \gamma^2 v^2 = \mu^2 \gamma^2 . 2g \frac{(n-1)}{\varpi} p,$$

$$\gamma = \left(1 - \frac{1 + \alpha z}{1 + \alpha T} . k\right),$$

k, z, T ayant la même signification qu'aux n°s 9 et suivants.

Enfin on a (n° 10),

(21) $$\frac{\Delta}{\varpi} = \mu \frac{(1+\eta)}{\gamma},$$

et

(22) $$x = \frac{\Delta}{\rho} \left[\frac{1}{1 - \sqrt{\frac{1 - \left(n - \frac{\rho}{\Delta}\right) \frac{\varpi}{\rho}}{\mu^2 (n-1) \gamma^2}}} \right].$$

Le tableau suivant donne les résultats de l'application de cette formule à celles des expériences citées au n° 9, qui correspondent à $\theta = 20°$, $\frac{\omega'}{\omega} = 3,76$. Nous avons représenté par d le rapport au diamètre de l'ouverture de la lance, du diamètre qu'il convient de donner à l'orifice du récepteur pour que l'introduction puisse se faire.

On a : $d = \sqrt{x}$ pour $x < 1$ et $d = 1$ pour $x > 1$ ou $n < \frac{\rho}{\Delta}$.

Numéros.	n	γ	Δ	$n - \frac{\rho}{\Delta}$	x	d
1	1,39	0,042	763^k	0.08	10,4	1
2	1,95	0,051	626	0,35	1,3	1
3	2,51	0,053	638	1,00	0.7945	0,89
4	3,04	0,067	506	1,06	1,2	1
5	3,60	0,078	390	1,04	0,5060	0,71
6	4,20	0,085	327	1,14	0,4337	0,66
7	4,79	0,110	172	négatif.	»	1
8	5,37	0,137	115	négatif.	»	1

Les expériences n°s 7 et 8 se trouvent dans le cas de la première période dont nous avons parlé plus haut. Pour les

n°s 1, 2 et 4, il se produit un remous dans le récepteur entre la gerbe et l'eau ; enfin, pour les n°s 3, 5, 6, il faut que l'orifice du récepteur soit inférieur à la section de la gerbe, et la perte de force vive se produit naturellement dans l'embouchure.

Revenons à la condition (19), en y supposant $n' = n$,

$$w > \sqrt{2gp\left(\frac{n}{\rho} - \frac{1}{\Delta}\right)}.$$

Il est clair qu'elle sera satisfaite, si l'on vérifie la suivante,

$$w > \sqrt{\frac{2gp}{\rho}(n-1)},$$

puisque ρ est supérieur à Δ.

En remplaçant z par sa valeur (9) dans la formule (14), on trouve :

$$w = v\left[M + \frac{N}{1+\eta} + \frac{P}{(1+\eta)^2} + \frac{Q\eta\theta}{1+\eta} + \frac{R\eta\theta}{(1+\eta)^2} + \frac{S\eta^2\theta^2}{(1+\eta)^2}\right]$$

en posant :

$$M = 1 - \frac{1+\beta z'}{1+\alpha T}$$

$$N = (606,5 + 0,305T)\left[\frac{\beta - \alpha(1+\beta z')}{1+\alpha T}\right]$$

$$P = \frac{\alpha\beta}{1+\alpha T}(606,5 + 0,305T)^2$$

$$Q = \frac{\beta - \alpha(1+\beta z')}{1+\alpha T}$$

$$R = \frac{2\alpha\beta}{1+\alpha T}(606,5 + 0,305T)$$

$$S = \frac{\alpha\beta}{1+\alpha T}.$$

Si l'on remarque que

$$v = \frac{1}{\mu}\sqrt{2gp\frac{(n-1)}{\varpi}},$$

la condition ci-dessus devient :

$$M + \frac{N}{1+\eta} + \frac{P}{(1+\eta)^2} + \frac{Q\eta\theta}{1+\eta} + \frac{R\eta\theta}{(1+\eta)^2} + \frac{S\eta^2\theta^2}{(1+\eta)^2} > \frac{1}{\mu}\sqrt{\frac{\varpi}{\rho}}$$

ou,

$$(23) \quad \left.\begin{array}{l} \eta^2\left(M + Q\theta + S\theta^2 - \frac{1}{\mu}\sqrt{\frac{\varpi}{\rho}}\right) + \eta\left[2M + N + \right. \\ \left. + R\theta - \frac{2}{\mu}\sqrt{\frac{\varpi}{\rho}}\right] + M + N + P - \frac{1}{\mu}\sqrt{\frac{\varpi}{\rho}} \end{array}\right\} > 0.$$

Le tableau suivant donne les valeurs des coefficients de cette expression pour celles de n, croissant en progression arithmétique de 0,50 comprises entre 1,50 et 5, les valeurs de μ étant empruntées au tableau du n° 9.

n	M	N	P	Q	R	S	ϖ	$\frac{1}{\mu}\sqrt{\frac{\varpi}{\rho}}$
2,5	0,061	0,442	4.990	—0,0007	0,015	$\frac{12}{10^6}$	0,8554	0,0410
2,0	0,072	0,432	4.899	—0,0007	0,015	$\frac{12}{10^6}$	1,1165	0,0546
2,5	0,071	0,512	4.851	—0,0007	0,015	$\frac{12}{10^6}$	1,3664	0,0624
3,0	0,081	0,531	4.803	—0,0008	0,015	$\frac{11}{10^6}$	1,6145	0,0747
3,5	0,018	0,542	4.758	—0,0008	0,015	$\frac{11}{10^6}$	1,8589	0,0832
4,0	0,026	0,536	4.724	—0,0008	0,015	$\frac{11}{10^6}$	2,1007	0,0910
4,5	0,100	0,536	4.694	—0,0008	0,014	$\frac{11}{10^6}$	2,3394	0,0988
5,0	0,118	0,526	4.655	—0,0008	0,014	$\frac{11}{10^6}$	2,5736	0,1047

On voit d'après ce tableau que le terme indépendant de η du polynome (23) est toujours positif et que la condition précédente sera généralement satisfaite.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

SUR LES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DU JET DE L'INJECTEUR AUTOMOTEUR.

Par MM. MINARY, ingénieur de l'atelier de construction de Casamène,
et H. RÉSAL, ingénieur des mines.

La nature du jet lancé dans le tube divergent de l'injecteur de M. Giffard, sa densité ou sa vitesse exprimée en fonction des variables dont elle dépend, constituent les éléments du phénomène produit que la théorie n'a pu déterminer jusqu'à présent. C'est en vue d'obtenir quelques notions sur ces éléments, que nous avons entrepris la série d'expériences dont nous allons donner la relation, en nous servant d'un appareil dérivant de l'injecteur ou qui en représente le principe, mais qui est beaucoup plus propre aux recherches expérimentales au point de vue de la précision.

1. *Considérations sur la constitution physique du jet.* — Le jet lancé par l'injecteur, après la condensation de la vapeur n'est pas à proprement parler de l'eau; il présente une structure globuliforme particulière, et sa densité est nécessairement inférieure à celle de l'eau.

On s'assure de sa texture globuliforme, déjà accusée par sa couleur d'un blanc mat, en interrompant le jet au moyen d'un écran placé perpendiculairement à son axe : on observe alors que le fluide au lieu de se mouvoir par filets, comme l'eau, se projette dans tous les sens, en gouttelettes sphériques, qui, par leur éclat particulier, dans certaines conditions de lumière, prouvent qu'elles sont animées d'un mouvement de rotation autour de leur centre de gravité.

D'autre part, si le jet était liquide, ou avait la densité de l'eau, en calculant sa force vive d'après les quantités d'eau

et de vapeur débitées, observées dans des expériences spéciales, on trouve qu'elle serait bien inférieure à celle qui est nécessaire pour vaincre la pression qui s'exerce dans le tube divergent et qui provient de la chaudière. Enfin des essais exécutés à l'aide d'un moulinet ont démontré que la vitesse du jet est incomparablement plus considérable que celle de l'eau débitée dans les mêmes conditions d'orifice et de dépense.

La texture spongieuse de la gerbe explique la forte proportion d'air qu'elle entraîne; dans quelques expériences exécutées sur un appareil correspondant à une machine de 4 chevaux, nous avons trouvé que, par kilogramme d'eau débitée, cette proportion était à peu près égale à 1 litre sous la pression atmosphérique, l'air étant saturé de vapeur à la température de l'eau de condensation.

La constitution globuliforme de la gerbe est due à ce que les deux ajutages sont assez rapprochés l'un de l'autre, pour que la naissance de l'ajutage extérieur se trouve comprise dans la zone des tourbillonnements provenant de la collision de la vapeur et de l'eau, et de la condensation de la vapeur. On s'en assure en faisant arriver un jet de vapeur de forme conique au fond d'un entonnoir en verre de même conicité et que l'on maintient constamment plein d'eau.

On voit ainsi que l'injecteur Giffard a permis de tirer parti de ces tourbillonnements, en les régularisant ou les transformant en un jet moléculaire permanent, tandis que dans les circonstances ordinaires, ils ne constituent que des pertes de force vive ou de travail.

Si la pression entre les deux ajutages était connue, il est clair que l'on pourrait calculer la dépense en vapeur et la dépense en eau; le principe des quantités de mouvement et des impulsions des forces donnerait la vitesse de la gerbe et sa rentrée dans la chaudière serait une conséquence de certaines valeurs de cette vitesse. Ainsi on peut considérer comme étant la seule inconnue de la question, la pression

entre les deux ajutages, laquelle est naturellement fonction de la pression dans la chaudière, de la température de l'eau d'alimentation, et de l'orifice annulaire par lequel elle vient à la rencontre du jet de vapeur.

Il résulte de cet exposé que le phénomène dont il est question est beaucoup plus compliqué qu'il ne le paraît au premier abord, et pour l'étudier, nous avons cherché à simplifier l'appareil Giffard, ou à le remplacer par un autre qui en représente le principe, en supprimant autant que possible les résistances secondaires dont la loi est connue.

Nous avons également supprimé le tuyau d'aspiration de l'eau d'alimentation, l'aspiration étant due à la même cause que le tirage des cheminées des locomotives et que le jeu des trompes.

2. *Disposition de l'appareil.* —Le jet de vapeur que nous avons employé est l'ajutage conique qui nous a servi dans nos expériences sur l'écoulement des vapeurs, et dont nous avons donné dans un autre mémoire (*), la description ainsi que celle des accessoires. Nous nous bornerons ici à rappeler que la pression de la vapeur est indiquée par un manomètre à air comprimé s'embranchant sur le tuyau à $0^{m}.50$ au-dessus de l'extrémité de l'orifice.

Le diamètre intérieur de l'orifice est de $3^{mm},5$ et le diamètre extérieur de $4^{mm},6$. La demi-ouverture du cône formant la surface extérieure est mesurée par 0.3.

La surface intérieure de l'autre ajutage, que nous appellerons pour abréger la *lance*, affecte la même forme conique dans les limites de rapprochement utile des deux ajutages; elle est évasée à la partie supérieure de manière à réduire la contraction et les frottements du fluide. Ce cône est terminé par un orifice cylindrique de $3^{mm},5$ de diamètre et de 5 millimètres de longueur.

La lance est fixée au moyen d'un pas de vis à une plaque

(*) *Annales des Mines*, tome XIX, 1861.

de fonte encastrée horizontalement dans un mur, et dans laquelle on a ménagé, à cet effet, une ouverture.

Dans nos expériences, les intervalles annulaires ω', servant de passage à l'eau, ont été réglés en raison de la distance δ de l'extrémité du jet de vapeur ou *tuyère*, à la position pour laquelle ce jet s'emboîte complétement dans la lance. La section ω des ajutages étant de $9^{mmq},62$, on déduit des nombres ci-dessus, pour la valeur du rapport $\frac{\omega'}{\omega}$ qui correspondent à celles de δ pour lesquelles nous avons opéré, les nombres suivants :

δ millim.	ω' mm. q.	$\frac{\omega'}{\omega}$
2	9,80	1,01
4	21,86	2,27
6	36,20	3,76
8	52,78	5,69

Le tuyau de conduite de la vapeur se termine par un bout de tuyau *a* (*fig.* 7 et 8, Pl. IX), de même diamètre intérieur et dont la surface extérieure est parfaitement cintrée. La tuyère se visse à l'extrémité de cet appendice qui est guidé par un tube *a'* d'une épaisseur suffisante et dans lequel il glisse à frottement doux ; ce tube est terminé vers la partie inférieure par quatre pieds *a''* tenus par une couronne *a'''*, que l'on fixe sur la table en fonte par des vis.

La surface extérieure du guide est taraudée de manière à recevoir un écrou à tête polygonale qui ne peut que tourner autour de la partie supérieure de la pièce *a*. En faisant mouvoir cet écrou dans un sens ou dans l'autre, au moyen d'une clef, on peut, en raison de la flexibilité du tuyau, rapprocher ou éloigner les deux ajutages l'un de l'autre.

Pour arriver exactement à un écartement δ, fixé d'avance, des deux ajutages, on fait descendre le tube *a* jusqu'au point pour lequel la tuyère s'emboîte complétement dans la lance *c* ; puis on amène la pièce à deux branches *b* (que

l'on fixe à volonté, par une vis de pression sur le tube a), en contact avec le bord de l'entonnoir formé par la lance; on fait ensuite remonter le tuyau a; on place sur c une mise en tôle d, taillée en couronne ayant l'épaisseur δ; enfin, on fait descendre de nouveau a jusqu'au moment où les branches de b s'appuient sur la mise, et les deux ajutages se trouvent dans les conditions voulues de rapprochement. Il est bon de dire que toutes les précautions ont été prises pour que les axes des pièces a' et c se trouvent bien exactetement dans le prolongement l'une de l'autre.

Une capacité en zinc est montée sur la table de fonte et enveloppe jusqu'à un certaine hauteur l'appareil que nous venons de décrire. Elle est divisée par une toile métallique transversale mm en deux compartiments dont l'un est affecté à l'appareil. A la partie supérieure de l'une des parois verticales du second compartiment, on a ménagé une ouverture horizontale de 10 centimètres de largeur, reliée extérieurement à un tuyau de dégagement, et qui en formant trop plein, permet d'obtenir un niveau constant. Ce compartiment reçoit l'eau d'une bâche placée à un niveau supérieur et dont la dépense est réglée à l'aide d'un robinet. L'eau de cette bâche a été portée, dans nos expériences à diverses températures.

La toile métallique a pour objet d'empêcher quelques corpuscules de venir obstruer le débouché de l'eau, de détruire la vitesse acquise par l'eau venant de la bâche supérieure, et même de maintenir la température plus uniforme autour de l'appareil dont le compartiment est muni d'un couvercle et reçoit un thermomètre. Il est arrivé dans quelques circonstances que l'eau de ce compartiment prenait une température supérieure à celle de l'autre ou de la bâche; mais nous avons pu observer que cette température était uniforme autour de l'appareil, et il nous a suffi de quelques tâtonnements, en refroidissant l'eau de la bâche pour que le thermomètre nous donnât l'indication voulue.

Nous avons cherché à mesurer la pression dans l'espace compris entre les deux ajutages au moyen d'un tube manométrique recourbé en U renfermant du mercure, et correspondant avec cet intervalle au moyen d'un trou capillaire *d*, qui aboutit en regard de l'extrémité de la lance; cette condition qui entraîne celle d'avoir autant de pièces *c* que de valeurs à donner à δ, nous a paru nécessaire pour rendre nos résultats comparables. Nous avons en effet observé dans des expériences préliminaires que la pression n'est pas bien exactement la même en tous les points de la zone des tourbillonnements. Ce tube manométrique ne nous a toutefois servi qu'à obtenir des approximations plus ou moins satisfaisantes; généralement, les faibles excès de pression sur l'atmosphère ont été évalués au-dessous de leur valeur, et l'on a trouvé par suite, dans quelques circonstances, pour la valeur du coefficient de dépense de l'eau des chiffres un peu supérieurs à l'unité. Toutefois ce mode d'expérimentation nous a permis de reconnaître que ce coefficient de dépense pouvait sans grande erreur être supposé égal à 0,97.

Le robinet à double effet que nous avons employé dans nos expériences sur l'écoulement des vapeurs, se trouve vissé à la partie inférieure de la pièce *c*; et à un moment donné, lorsque les influences de la mise en train ont disparu, l'eau de l'appareil, qui s'échappait à l'extérieur, est envoyée dans une bâche placée sur une balance à bascule. C'est ainsi que l'on a déterminé le poids total d'eau et de vapeur débité dans un temps donné; le poids de vapeur écoulé a été calculé à l'aide de nos formules sur l'écoulement des vapeurs, en prenant la pression au débouché, indiquée par le tube en U. Enfin par une différence, nous avons obtenu la dépense en eau d'alimentation.

3. *Relation entre les indications du manomètre en* U *et les pressions correspondantes.* — Le zéro de l'échelle correspond au niveau du mercure dans la grande branche, lorsque le réservoir étant rempli d'eau jusqu'au niveau du déversoir,

l'écoulement est interrompu. La différence de niveau entre le seuil du déversoir et la partie moyenne de l'intervalle compris entre les deux ajutages est de $0^{m},22$, soit $16^{mm},3$ en hauteur de mercure.

Soient :

a_0, A_0 les niveaux du mercure dans la grande branche et la petite branche, le premier de ces niveaux étant au zéro de l'échelle ;

B l'intersection du plan de niveau dans le déversoir, avec la direction de la grande branche ;

c la projection sur cette direction du point où la grande branche se réunit à l'appareil ;

A, a les niveaux que prend le mercure dans la petite branche et la grande branche, lorsque l'appareil fonctionnant, il se produit une aspiration ;

a' l'intersection de l'horizontale du point a_0 avec la verticale du point A_0 ;

W, w la pression atmosphérique (*) et la pression entre les deux ajutages estimés en colonne de mercure, l'unité étant le millimètre.

En prenant 13,5 pour la densité de mercure, on a évidemment :

$$A_0a' = \frac{Ba_0}{13,5};$$

$$W + Aa' = w + aa_0 + \frac{Ca}{13,5};$$

d'où

$$W - w = aa_0 - Aa' + \frac{Ca}{13,5};$$

or

$$Aa' = A_0a' - A_0A = A_0a' - aa_0;$$

$$\frac{Ca}{13,5} = \frac{Ba_0}{13,5} - \frac{aa_0}{13,5} - \frac{Bc}{13,5} = A_0a' - \frac{aa_0}{13,5} - \frac{Bc}{13,5}.$$

(*) Dont la moyenne à Besançon est de $0^{m},740$ de mercure.

Il suit de là, en posant $\varphi = aa_0$ et en se rappelant que $\frac{\mathrm{Bc}}{13,5} = 16^{\mathrm{mm}},3$, que

$$(a) \qquad \mathrm{W} - w + 16,3 = \varphi\left(2 - \frac{1}{13,5}\right) = 1,93\varphi.$$

Telle est la charge motrice relative à la dépense d'eau estimée en millimètres de mercure. La pression entre les deux ajutages est donnée par

$$w = \mathrm{W} - 1,93\varphi + 16,30 = 724 - 1,93\varphi.$$

4. *Formules employées.*

Soient :

$\omega = 0^{\mathrm{mq}},00000962$ la section des ajutages;

ω' la section annulaire traversée par l'eau :

Ω la section du tuyau de vapeur dont le diamètre est de 15 millimètres;

Q le poids total d'eau dépensé en 10 minutes;

q le poids correspondant de vapeur dépensé;

μ le coefficient de dépense de la vapeur;

ν le coefficient de dépense de l'eau;

$p = 10333$ kil. la pression atmosphérique normale correspondant à 760 millimètres de mercure;

n la pression en atmosphères indiquée par le manomètre à air comprimé;

ϖ la densité de la vapeur à cette pression;

θ la température de l'eau d'alimentation.

On a :

$$(1) \qquad q = 600\mu\omega\sqrt{2gp\,\frac{(760n + 1,93\varphi - 724)\,\varpi}{760}},$$

$$(2) \qquad \mathrm{Q} = 600\nu\omega'\sqrt{2gp\,\frac{1,93\varphi \times 1000}{760}}.$$

Le coefficient μ ayant été déterminé pour chaque valeur

de n par des expériences spéciales, la formule (1) a permis de calculer les différentes valeurs de q; et comme chaque expérience fournit le poids total d'eau et de vapeur, on a déterminé Q par différence. C'est ainsi que nous avons formé les tableaux de nos expériences, en nous servant d'autre part des données suivantes :

n	μ	ϖ
1,39	0,808	0,79128
1,95	0,627	1,08986
2,51	0,562	1.37136
3,04	0,540	1,63453
3,60	0,514	1,90886
4,20	0,501	2,20198
4,79	0,486	2,47618
3,37	0,481	2,74956

Chaque expérience a duré 10 minutes; mais on n'a consigné dans les tableaux ci-après que les moyennes des expériences exécutées dans des conditions identiques, et qui toutes ont donné des résultats peu différents les uns des autres.

Lorsque pour une valeur de la pression, l'appareil ne fonctionne plus, on indique ce fait par la lettre x placée en regard de n dans les tableaux.

Quand l'appareil se trouve dans des conditions voisines de celles pour lesquelles le fonctionnement n'est plus possible, souvent le phénomène qu'il présente laisse à désirer au point de vue de la stabilité, et les résultats de l'expérience n'offrent plus le caractère de précision que l'on a le droit d'exiger. Les causes d'inexactitude proviennent en général de ce que la vapeur ne se condense pas entièrement dans l'eau qui est projetée par la tuyère, et qu'une partie se rend dans la masse d'eau contenue dans le réservoir, et en élève la température. Nous indiquerons d'une manière spéciale les résultats douteux.

$\frac{\omega'}{\omega}$	θ	n	φ	q	Q	$\frac{Q}{q}$	ν	OBSERVATIONS.
			mm.	k.	k.			
1,01	20°	1,39	75	1.529	36.221	23,69	0,95	
		1,95	59	1.924	32.976	17,14	0,97	Douteux.
		2,51	x	»	»	»	»	
	30	1,39	53	1.457	32.393	22,23	1,00	Douteux. Erreur en moins dans l'estimation de φ. Ces deux expériences sont mauvaises relativement au calcul de ν.
		1,95	45	1.895	30.255	15,97	1,02	
		2,51	x	»	»	»	»	
2,27	15	1,39	57	1.471	72.979	49,61	0,98	
		1,95	49	1.904	64.346	33,79	0,93	
		2,51	x	»	»	»	»	
	20	1,39	50	1.449	69.151	47,723	0,99	
		1,95	47	1.901	64.349	33,844	0,95	
		2,51	x	»	»	»	»	
	30	1,39	38	1.407	61.693	43,847	»	
		1,95	31	1.865	57.160	30,649	1,04	La valeur de φ est trop faible.
		2,51	27	2.271	52.299	23,069	1,01	
		3,04	x	»	»	»	»	
	40	1,39	23	1.351	48.549	35,936	1,02	*Idem.*
		1,95	20	1.842	46.658	25,439	1,06	
		2,51	19	2.257	8.143	3,609	»	
		3,04	x	»	»	»	»	
	50	1,39	6,5	1.293	32.107	24,831	»	
		1,95	x	»	»	»	»	
3,76	20	1,39	14	1.323	65.027	49,151	0,96	
		1,95	25	1.852	84.698	45,701	0,97	
		2,51	33	2.282	94.943	41,605	0,99	
		3,04	37	2.758	103.242	37,434	»	
		3,60	31	3.171	95.129	30,000	»	
		4,20	24	3.656	86.644	27,700	»	
		4,79	18	4.080	78.[illegible]	19,208	»	
		5,37	14	4.739	71.[illegible]	15,058	»	
	30	1,39	10	1.308	63.742	48,732	»	
		1,95	26	1.854	87.896	47,409	»	
		2,51	28	2.274	95.626	42,053	»	
		3,01	32	2.751	93.649	34,042	0,96	
		3,60	x	»	»	»	»	
	40	1,39	11	1.312	64.138	48,886	»	
		1,95	25	1.852	89.598	48,379	»	
		2,51	x	»	»	»	»	
5,69	20	1,39	8	1.300	52.275	40,21	0,90	
		1,95	17	1.835	78.265	42,65	0,98	
		2,51	25	2.268	94.732	41,53	0,96	
		3,04	31	2.749	103.751	37,74	0,96	
		3,60	35	3.178	112.022	35,28	0,98	
		4,20	33	3.670	106.330	28,90	0,96	
		4,79	27	4.092	97.108	23,73	0,96	
		5,37	24	4.752	89.648	18,87	0,95	
					Moyenne. .		0,96	
	30	1,39	8	1.300	53.700	41,31	0,95	
		1,95	17	1.835	79.565	43,36	0,99	
		2,51	25	2.268	94.532	41,76	0,98	
		3,04	28	2.744	99.256	36,17	0,97	
		3,60	29	3.159	101.941	32,27	0,97	
		4,20	25	3.658	95.442	26,09	0,98	
		4,79	23	4.086	88.914	21,75	0,95	
		5,37	26	4.747	83.053	17,49	0,96	
					Moyenne. .		0,97	

$\frac{\omega'}{\omega}$	θ	n	φ	q	Q	$\frac{Q}{q}$	ν	OBSERVATIONS.
			mm.	k.	k.			
	40°	1,39	6	2.295	54.055	41,74		
		1,95	14	1.805	80.195	43,43		
		2,51	20	2.259	88.341	40,00		
		3,04	18	2.728	80.772	29,61		
		3,60	20	3.155	87.620	27,76		
		4,20	x	»	»	»		
	50	1,39	7	1.296	56.634	43,69		
		1,95	12	1.801	74.299	41,25		
		2,51	11	2 248	66.632	29,71		
		3,04	10	2.715	63.885	22.42		
		3,60	x	»	»	»		

L'ensemble de ces tableaux montre que l'on peut, sans grande erreur, supposer $\nu = 0{,}97$.

Nous avons terminé nos expériences par quelques essais sur l'appareil complété par un récepteur divergent engagé dans un réservoir cylindrique en fonte. Ce réservoir, qui est mis en communication avec un réservoir à air comprimé et qui est muni d'un robinet à sa partie inférieure, a pour objet de remplacer la chaudière. En fermant plus ou moins ce robinet, on fait monter la pression dans la capacité, et l'on peut atteindre ainsi celle pour laquelle la gerbe ne peut plus entrer dans le récepteur. Nous avons remarqué dans quelques cas que la pression maximum dépasse notablement la pression dans la chaudière; tandis que dans les autres, elle est égale ou inférieure à cette dernière. Les indications du tube en U sont naturellement restées indépendantes de la pression dans le réservoir; ainsi se trouve détruite cette assertion d'un auteur, contraire aux principes de l'hydraulique, que le récepteur influe sur le débit de la lance.

Enfin nous avons reconnu qu'un même récepteur ne peut convenir qu'à des pressions comprises entre des limites assez restreintes au delà desquelles il faut diminuer ou augmenter l'embouchure.

FORMULES

POUR LE CALCUL DE LA RÉSISTANCE DES CHAÎNES A MAILLONS PLATS.

Par M. RÉSAL, ingénieur des mines.

Quoique la chaîne soit, dans un grand nombre de circonstances, le seul intermédiaire que l'on puisse employer pour transmettre des efforts de traction souvent très-considérables, il n'existe, à ma connaissance du moins, aucune formule qui permette d'en calculer les dimensions de manière à ce qu'elle puisse résister d'une manière permanente à un effort maximum donné.

Dans la pratique, on supplée à cette lacune, en supposant que cet effort, augmenté du poids de la chaîne s'il y a lieu, est uniformément réparti sur le double de la section de chaque maillon. Mais tout en se donnant dans ce calcul une résistance élastique maximum bien inférieure à la résistance à la rupture, dont elle n'est généralement que le 1/8 ou le 1/9, on remarque souvent que, après un usage plus ou moins prolongé, les maillons s'ouvrent à l'intérieur au milieu de leurs longs côtés. On voit ainsi que l'on est loin de la solution du problème; ce qui d'ailleurs est évident à priori, car dans le calcul précédent on ne fait entrer en ligne de compte que l'allongement proportionnel de la *fibre moyenne*, et l'on néglige de cette manière les déplacements angulaires des sections normales à cette fibre, dus aux moments des forces, et qui sont cependant, en général, beaucoup plus importants.

Dans la marine, on renforce les maillons au moyen d'une entretoise en fonte qui réunit les deux points dangereux;

mais ce moyen apporte une complication dans la fabrication de la chaîne, en même temps qu'il en augmente notablement le poids; de plus on est obligé de donner une plus grande longueur aux maillons, ce qui n'est pas sans inconvénient lorsque la chaîne doit s'enrouler sur un tambour. C'est pour ces motifs que le système des entretoises est peu goûté des industriels et qu'ils cherchent à y suppléer en donnant une plus forte section aux maillons.

Une question de monte-charge de hauts fourneaux situés dans la circonscription de mon service, pour laquelle j'ai été consulté, m'a conduit à chercher les conditions de résistance des chaînes à maillons plats, problème qui ne présente aucune difficulté ou indétermination, sans sortir de la théorie ordinaire de la résistance des matériaux.

1. *Définition de la forme d'un maillon.* — La forme générale d'un maillon peut être considérée comme engendrée par un cercle qui se déplace normalement à un ovale plan donné, ligne que le centre du cercle est assujetti à parcourir.

Cet ovale peut se définir par deux couples d'arcs de cercle identiques chacun à chacun, disposés de telle manière que les deux lignes des centres soient rectangulaires et que leur intersection détermine un centre de figure. Les sommets du grand axe correspondent ainsi aux points de contact des maillons adjacents.

2. *Notations.* — Soient (*fig.* 10, Pl. IX) :

O le centre de figure de l'ovale;

O*a* le demi grand axe;

OA le demi petit axe;

c le centre de l'arc de cercle, dont la moitié est représentée par *ad*, et qui aboutit au point *a*;

C le centre de l'arc A*d* qui se raccorde en *d* avec le précédent;

BB', *bb'*, *ee'*, les traces des sections normales à l'ovale menées par les points A, *a*, *d*;

$2P$ l'effort que doit supporter le maillon et qui est supposé appliqué au point b' suivant $b'b$;

ρ le rayon de la section du maillon;

$r = cd = ac$ le rayon de l'arc ad;

$R = CA = Cd$ le rayon de l'arc Ad;

θ l'angle que forme avec Oa une section normale mm' au point n de l'ovale;

φ l'angle formé avec CA par la section pp' normale au point q de l'arc Ad;

α l'angle ACd;

$l = R\alpha$ la longueur de l'arc Ad;

E le coefficient d'élasticité de la matière;

γ le rapport du coefficient de glissement à E.

3. *Considérations générales sur la déformation du maillon. — Distribution des forces élastiques.* — Par suite de la symétrie que la pièce doit conserver par rapport aux axes Oa, OA, après la déformation qu'elle subit sous l'action de la traction $2P$, les points primitivement en A et a ne cessent pas de se trouver sur les directions respectives des deux axes de figure du maillon, et leurs distances au centre de figure O sont seules modifiées. Par la même raison, les sections normales correspondant à ces deux points restent planes et ne cessent pas d'être dirigées suivant BB', bb'.

Il n'y a pas de composante élastique de glissement suivant la section dont la trace est BB'; car si l'on considère après la déformation, l'équilibre de l'élément de volume déterminé par deux plans normaux à l'arc de cercle de centre C, infiniment voisins et symétriques par rapport à BB', on voit que les efforts de glissement s'ajouteraient suivant OA pour faire équilibre à la composante infiniment petite ou nulle, suivant cette direction, des forces élastiques normales à ces sections.

La composante de glissement suivant la section bb' considérée comme appartenant au quart Aa du maillon, est égale à P; c'est ce qui résulte de l'équilibre de l'élément de

volume déterminé par deux sections normales à l'arc de centre c, infiniment voisines et symétriques par rapport à OA.

Ainsi, on peut considérer le quart Aa du maillon comme entièrement libre, en le supposant sollicité à ses extrémités par deux forces l'une normale à BB' dont le point d'application est inconnu, l'autre P dirigée suivant $b'b$, sans composante suivant AO. Il résulte de là et des conditions l'équilibre de translation de cette partie du maillon, que les forces élastiques normales à bb' ont une résultante nulle, ou qu'elles donnent lieu à un couple unique dont nous représenterons le moment par P. A, A étant une constante dont la valeur devra résulter de la solution du problème.

4. *De l'allongement de la fibre moyenne.* — Soient ds un élément d'arc de l'ovale non déformé, ds' ce qu'il devient après la déformation.

La composante de P perpendiculaire à mm' étant $P \sin \theta$, il vient

$$E\pi\rho^2 \frac{ds' - ds}{ds} = P \sin \theta$$

d'où en posant

$$\frac{ds'}{ds} = \lambda, \quad \frac{E\pi\rho^2}{P} = \delta$$

$$(1) \qquad \lambda = 1 + \delta \sin \varphi,$$

formule qui s'appliquera à tous les points de l'arc ad.

Pour l'arc Ad, on a de même

$$(2) \qquad \lambda = 1 + \delta \cos \theta,$$

On peut remplacer ces deux équations par la suivante

$$(3) \qquad \lambda = 1 + \eta$$

dans laquelle η représente l'une quelconque des deux quantités $\delta \sin \theta$ et $\delta \cos \varphi$.

5. *Équation des moments.* — L'équation ordinaire des moments relative aux pièces courbes, supposant que le rayon de courbure de ces pièces est très-grand relativement à leurs

dimensions transversales, n'est pas applicable au cas actuel et nous devons par conséquent chercher la formule à laquelle elle doit être substituée, en négligeant toutefois comme on le fait d'habitude, les variations de formes et de dimensions des sections de la pièce, hypothèse que l'observation rend admissible.

Considérons deux sections infiniment voisines normales à ad; elles resteront normales à cette couche après la déformation, si, comme dans la théorie ordinaire, on néglige leur gauchissement et leur glissement relatif. Soient donc actuellement (*fig.* 9), mm', $m_1m'_1$ les traces de ces deux sections, dont le point de rencontre h détermine le centre de courbure du lieu nn_1 de leurs centres; $r'=hn$ le rayon de courbure correspondant.

On peut concevoir l'élément de volume $mm'm_1m'_1$ comme formé de prismes curvilignes élémentaires parallèles à nn_1 ayant pour section droite un élément $d\omega$ de $\pi\rho^2$; soient ff la projection d'une arête de l'un de ces prismes et ρ la distance fn. On a

$$\frac{ff'}{nn_1 \text{ ou } ds'}=\frac{\zeta+r'}{r'}=1+\frac{\zeta}{r'},$$

ou

$$ff'=\left(1+\frac{\zeta}{r'}\right)\lambda ds.$$

La valeur primitive de ff' étant par la même raison

$$\left(1+\frac{\zeta}{r}\right)ds,$$

l'allongement relatif correspondant est

$$\frac{\lambda\left(1+\frac{\zeta}{r'}\right)-\left(1+\frac{\zeta}{r}\right)}{1+\frac{\zeta}{r}},$$

ou, en remplaçant λ par sa valeur $1+\eta$ et négligeant le

terme $\zeta\left(\frac{1}{r'}-\frac{1}{r}\right)\eta'$, qui est du second ordre par rapport aux déplacements,

$$(a) \qquad \eta+\frac{\zeta\left(\frac{1}{r'}-\frac{1}{r}\right)}{1+\frac{\zeta}{r}}.$$

On déduit de là pour la somme des moments des composantes élastiques relatives à la section mm' par rapport au point n

$$M=E\int\left[\eta+\frac{\zeta\left(\frac{1}{r'}-\frac{1}{r}\right)}{1+\frac{\zeta}{r}}\right]\zeta d\omega$$

l'intégrale étant prise pour toute la section $\pi\rho^2$ du maillon. Or on a

$$\int\zeta d\omega=0,$$

et par suite

$$M=E\left(\frac{1}{r'}-\frac{1}{r}\right)\int\frac{\zeta^2 d\omega}{1+\frac{\zeta}{r}}=E\left(\frac{1}{r'}-\frac{1}{r}\right)r^2\int\left(\frac{\zeta}{r}-1+\frac{1}{1+\frac{\zeta}{r}}\right)d\omega$$

ou enfin

$$M=E\left(\frac{1}{r'}-\frac{1}{r}\right)r^2\left(-\pi\rho^2+\int\frac{d\omega}{1+\frac{\zeta}{r}}\right).$$

Pour achever le calcul, nous pouvons prendre pour $d\omega$, l'élément de surface limité par les circonférences de centre n et de rayons x, $x+dx$, et par deux rayons infiniment voisins faisant avec mn les angles ψ, $\psi+d\psi$; on a ainsi $d\omega=xdxd\psi$, $\zeta=x\sin\psi$, et l'intégrale devra prise de o à ρ par rapport à x et de o à 2π par rapport à ψ. Il vient donc

$$\int\frac{d\omega}{1+\frac{\rho}{r}}=\int_0^\rho xdx\int_0^{2\pi}\frac{d\psi}{1+\frac{x}{r}\sin\psi}.$$

Or on voit facilement que

$$\int_0^{2\pi}\frac{d\psi}{1+\frac{x}{r}\sin\psi} = 2\int_0^{\pi}\frac{d\psi}{1+\frac{x}{r}\sin\psi} + 2\int_0^{\pi}\frac{d\psi}{1+\frac{x}{r}\sin\psi}.$$

D'autre part

$$\int_0^{\pi}\frac{d\psi}{1+\frac{x}{r}\sin\psi} = 2\int_0^{\infty}\frac{d\,\mathrm{tang}\,\frac{\psi}{2}}{1+\mathrm{tang}^2\frac{\psi}{2}+\frac{2x}{r}\,\mathrm{tang}\,\frac{\psi}{2}} =$$

$$= \frac{2}{\sqrt{1-\frac{x^2}{r^2}}}\left(\frac{\pi}{2}-\frac{\frac{x}{r}}{\sqrt{1-\frac{x^2}{r^2}}}\right).$$

On trouverait de même,

$$\int_0^{\pi}\frac{d\psi}{1-\frac{x}{r}\sin\psi} = \frac{2}{\sqrt{1-\frac{x^2}{r^2}}}\left(\frac{\pi}{2}+\frac{\frac{x}{r}}{\sqrt{1-\frac{x^2}{r^2}}}\right);$$

D'où il suit que

$$\int\frac{d\omega}{1+\frac{\rho}{r}} = \int_0^{\rho}\frac{2\pi x\,dx}{\sqrt{1-\frac{x^2}{r^2}}},$$

et enfin que

$$M = E\left(\frac{1}{r'}-\frac{1}{r}\right)\pi r^2\left[2r^2\left(1-\sqrt{1-\frac{\rho^2}{r^2}}\right)-\rho^2\right];$$

Or ce moment est égal à celui $Pr\sin\theta$ de la force P dirigée suivant $b'b$, augmenté du moment $P\Delta$ du couple formé par les forces élastiques normales à la même section.

Il vient donc

$$\frac{1}{r'}-\frac{1}{r} = \frac{P(r\sin\theta+\Delta)}{\pi r^2 E\left[2r^2\left(1-\sqrt{1-\frac{\rho^2}{r^2}}\right)-\rho^2\right]}.$$

Désignons par θ' l'angle formé avec oa par la normale en n à l'ovale déformé; on a $\frac{1}{r'} = \frac{d\theta'}{ds'} = \frac{d\theta'}{\lambda ds} = \frac{d\theta'}{r(1+\delta\sin\theta)d\theta}$, et par suite, en continuant à négliger les termes de l'ordre $\delta\left(\frac{1}{r'} - \frac{1}{r}\right)$,

$$\frac{d\theta'}{d\theta} = 1 + \delta\sin\theta + \frac{P(r\sin\theta + A)}{\pi r^3 E\left[2\left(1-\sqrt{1-\frac{\rho^2}{r^2}}\right)-\frac{\rho^2}{r^2}\right]}.$$

La normale au point b ne se confond plus maintenant avec Oa; elle forme actuellement avec cette direction un angle dû à la composante de glissement P, mesuré par $\frac{P}{\pi\rho^2 E\gamma}$ et qui n'est autre chose que la valeur de θ' correspondant à $\theta = 0$. L'intégrale de l'équation précédente est donc

$$\theta' = \theta + \delta(1-\cos\theta) + \frac{P[r(1-\cos\theta) + A\theta]}{\pi r^3 E\left[2\left(1-\sqrt{1-\frac{\rho^2}{r^2}}\right)-\frac{\rho^2}{r^2}\right]} + \frac{P}{\pi\rho^2 E\gamma},$$

et pour $\theta = \frac{\pi}{2} - \alpha$

$$(4)\quad \theta' = \frac{\pi}{2} - \alpha + \delta(1-\sin\alpha) + \frac{P\left[r(1-\sin\alpha) + A\left(\frac{\pi}{2}-\alpha\right)\right]}{\pi r^3 E\left[2\left(1-\sqrt{1-\frac{\rho^2}{r^2}}\right)-\frac{\rho^2}{r^2}\right]} + \frac{P}{\pi\rho^2 E\gamma}.$$

Considérons maintenant (*fig.* 10) une section pp' du segment $BB'ee'$ ayant son centre en q et soient i et j les projections de q et d sur CA. Le moment de P par rapport au point q est

$$P \times Oi = P(Ci - OC) = P(R\cos\varphi - Cj + Oj)$$

ou

$$P \times Oi = P(R\cos\varphi - R\cos\alpha + r\cos\alpha).$$

Si donc on désigne par R' ce que devient le rayon de courbure R après la déformation, on obtient, en suivant la même marche que ci-dessus,

$$(b)\qquad \frac{1}{R'}-\frac{1}{R}=\frac{P[R(\cos\varphi-\cos\alpha)+r\cos\alpha+A]}{\pi R^4 E\left[2\left(1-\sqrt{1-\frac{\rho^2}{R^2}}\right)-\frac{\rho^2}{R^2}\right]}.$$

Soit φ' l'angle que forme R' avec CA, on a

$$\frac{1}{R'}=\frac{d\varphi'}{\lambda ds'}=\frac{d\varphi'}{(1+\delta\cos\varphi)R\,d\varphi},$$

et par suite, en continuant l'approximation adoptée

$$\frac{d\varphi'}{d\varphi}=1+\delta\cos\varphi+\frac{P[R(\cos\varphi-\cos\alpha)+r\cos\alpha+A]}{\pi R^3 E\left[2\left(1-\sqrt{1-\frac{\rho^2}{R^2}}\right)-\frac{\rho^2}{R^2}\right]},$$

d'où, en remarquant que $\varphi'=0$ pour $\varphi=0$

$$\varphi'=\varphi+\delta\sin\varphi+\frac{P[R(\sin\varphi-\varphi\cos\alpha)+\varphi(r\cos\alpha+A)]}{\pi R^3 E\left[2\left(1-\sqrt{1-\frac{\rho^2}{R^2}}\right)-\frac{\rho^2}{R^2}\right]};$$

et enfin pour $\varphi=\alpha$ ou pour le point d, on a

$$(5)\qquad \varphi'=\alpha+\delta\sin\alpha+\frac{P[R(\sin\alpha-\alpha\cos\alpha)+\alpha(r\cos\alpha+A)]}{\pi R^3 E\left[2\left(1-\sqrt{1-\frac{\rho^2}{R^2}}\right)-\frac{\rho^2}{R^2}\right]}.$$

La somme des expressions (4) et (5) devant être égale à $\frac{\pi}{2}$, il vient en remplaçant δ par sa valeur

$$(6)\qquad \left\{\begin{array}{l}\left(1+\frac{1}{\gamma}\right)\frac{1}{\rho^2}+\frac{r(1-\sin\alpha)+A\left(\frac{\pi}{2}-\alpha\right)}{r^3\left[2\left(1-\sqrt{1-\frac{\rho^2}{r^2}}\right)-\frac{\rho^2}{r^2}\right]}\\ \qquad+\frac{R(\sin\alpha-\alpha\cos\alpha)+\alpha(r\cos\alpha+A)}{R^3\left[2\left(1-\sqrt{1-\frac{\rho^2}{R^2}}\right)-\frac{\rho^2}{R^2}\right]}\end{array}\right\}=0,$$

équation dont on déduira A. Mais la valeur que l'on obtient ainsi est compliquée, et pour la simplifier il convient de nous reporter à la nature même de la question.

6. *Cas où les maillons ont leurs longs côtés rectilignes.* — Les maillons étant des pièces de forge et la courbure des arcs tels que Ad étant peu prononcée, il est à peu près impossible d'arriver pratiquement à obtenir, pour cet arc, une courbure donnée avec une approximation suffisante. C'est pourquoi il vaut mieux ne pas tenir compte de cet élément dans la formule, ou supposer rectilignes les arcs Ad ; l'erreur commise sera faible et de plus favorable au degré de sécurité de chaque maillon, attendu que pour calculer sa section, nous substituons à la forme réelle une forme correspondant à une moindre résistance.

En développant le radical du dénominateur du troisième terme de l'équation (6), et s'arrêtant au terme du second ordre en $\frac{\rho^2}{R^2}$, puis supposant $R\alpha = l$, en même temps que $\alpha = 0$, $R = \infty$, on trouve que ce terme se réduit à $\frac{4l(r+A)}{\rho^4}$.

Si donc on pose

$$\frac{\rho}{r} = K, \qquad \frac{l}{r} = K'$$

l'équation (6) devient, en prenant avec M. Wertheim $\gamma = \frac{1}{2}$,

$$3 + \frac{K^2\left(r + \frac{A\pi}{2}\right)}{r\left[2\left(1 - \sqrt{1 - K^2}\right) - K^2\right]} + 4K'r\left(\frac{r + A}{\rho^2}\right) = 0;$$

or

$$\sqrt{1 - K^2} = 1 - \frac{1}{2}K^2 - \frac{1}{8}K^4 - \frac{1}{16}K^6 - \frac{5}{128}\cdot K^8 \ldots,$$

et comme K est toujours inférieur à $\frac{1}{2}$, on peut s'arrêter avec une approximation suffisante au terme du sixième ordre en K ; il vient donc

$$\frac{3}{4}+\frac{\left(r+\frac{A\pi}{2}\right)}{r\left(1+\frac{K^2}{2}\right)K^2}+\frac{K'r(r+A)}{\rho^2}=0,$$

d'où

$$A=-r\left[\frac{K'\left(1+\frac{K^2}{2}\right)+1+\frac{3}{4}\left(1+\frac{K^2}{2}\right)K^2}{\frac{\pi}{2}+K'\left(1+\frac{K^2}{2}\right)}\right].$$

et enfin

$$(7)\qquad P(r+A)=Pr.\frac{\frac{\pi}{2}-1-\frac{3}{4}\left(1+\frac{K^2}{2}\right)K^2}{\frac{\pi}{2}+K'\left(1+\frac{K^2}{2}\right)},$$

expression qui représente le moment relatif au point A. Ce moment étant un maximum, il s'ensuit que le déplacement angulaire des sections, résultant de la déformation, atteint son maximum en A, la pièce devenant convexe en ce point par rapport à Ob, et l'on voit de cette manière que la dilatation maximum totale correspond au point B' qui est par suite le point dangereux.

L'expression (a) donne pour cette dilatation en y supposant $r'=R'$, $r=\infty$, $\eta=\delta$, $\zeta=\rho$,

$$\delta+\frac{\rho}{R'}.$$

Si donc, on désigne par Γ la résistance élastique maximum que l'on veut développer par millimètre carré, on aura

$$E\left(\delta+\frac{\rho}{R'}\right)=\overline{1000}^2.\Gamma.$$

L'équivalent de la formule (b) est

$$\frac{4\pi\rho^4}{R'}=P(r+A),$$

d'où

$$\frac{E}{R'}=\frac{4P(r+A)}{\pi\rho^4};$$

d'autre part

$$E\delta = \frac{P}{\pi\rho^2},$$

par suite

$$\frac{P}{\pi\rho^2}\left[1 + \frac{4}{\rho}(r + \Delta)\right] = \overline{1000}^2 . \Gamma$$

ou

$$(8) \quad \frac{P}{\pi\rho^2}\left\{1 + \frac{4}{K}\frac{\left[\frac{\pi}{2} - 1 - \frac{3}{4}K^2\left(1 + \frac{K^2}{2}\right)\right]}{\frac{\pi}{2} + K'\left(1 + \frac{K^2}{2}\right)}\right\} = \overline{1000}^2 . \Gamma.$$

Enfin, en désignant par ρ' le rayon ρ exprimé en millimètres, ou posant $\rho' = 1000\rho$, on trouve

$$(9) \qquad \rho' = \sqrt{\frac{P}{\pi\Gamma}\left\{1 + \frac{2,28 - 3K^2\left(1 + \frac{K^2}{2}\right)}{K\left[1,57 + K'\left(1 + \frac{K^2}{2}\right)\right]}\right\}}$$

formule qui donne pour ρ' une valeur plus forte que celle $\rho' = \sqrt{\frac{P}{\pi T}}$ que l'on adopte habituellement.

Supposons, par exemple, que l'on prenne $\rho = 0,4r$ ou $K = 0,4$; le rayon intérieur des parties courbes de chaque maillon sera $r - 0,4r = 0,6r = \frac{3}{2}\rho$; le jeu ménagé entre l'une de ces courbes et le chaînon adjacent sera $0,6r - \rho = 0,2r = \frac{\rho}{2}$. La première de ces relations est empruntée à une chaîne de monte-charge de l'un des hauts fourneaux de Rans (Jura). On donne ordinairement au maillon une longueur égale à cinq fois le diamètre de sa section, de manière à ce que, lorsque la chaîne est formée, il reste dans leur partie centrale un vide d'une largeur égale à ce diamètre. On a ainsi

$$2l + 2r + 2\rho = 10\rho,$$

d'où

$$\frac{l}{r} = 0{,}60 = K',$$

et enfin

$$\rho' = \sqrt{\frac{3P}{\pi\rho}} = 1{,}73\sqrt{\frac{P}{\pi\Gamma}}.$$

Admettons par exemple que $P = 2.500$ kil. et $\Gamma = 10$ kil., on trouve $\rho' = 15^{mm},44$, ou $2\rho' = 31^{mm}$.

7. *Cas des chaînes d'une grande longueur.* — Si la chaîne doit avoir une grande longueur et si elle doit fonctionner verticalement, on doit tenir compte de son poids pour le maillon supérieur qui fatigue le plus, et la formule (9) doit être modifiée.

Le poids du mètre cube de fer étant estimé à 7.788 kil., le poids d'un maillon est $(2l + 2\pi r)\pi\rho^2 \times 7.788$. Or un maillon apporte à la chaîne une longueur $2r + 2l - 2\rho$; si donc on désigne par L la longueur totale de la chaîne, son poids sera

$$Q = \frac{L(2l + 2\pi r)}{2r + 2l - 2\rho}\pi\rho^2.7788 = L\frac{(K' + \pi)}{1 + K' - K}\pi\rho^2.7.788$$

dont la moitié doit être ajoutée à la valeur de P dans la formule (8). On trouve de cette manière

$$(10)\quad \rho' = \sqrt{\frac{P\left\{1 + \dfrac{2{,}28 - 3K^2\left(1 + \dfrac{K^2}{2}\right)}{K\left[1{,}57 + K'\left(1 + \dfrac{K^2}{2}\right)\right]}\right\}}{\pi\left\{\Gamma - \dfrac{L(K' + \pi)}{2(1 + K' - K)}\cdot\dfrac{7.788}{1.000^2}\cdot\left[\dfrac{2{,}28 - 3K^2\left(1 + \dfrac{K^2}{2}\right)}{K\left[1{,}57 + K'\left(1 + \dfrac{K^2}{2}\right)\right]} + 1\right]\right\}}}$$

Si nous adoptons les valeurs de K et K′ admises plus haut, il vient

$$\rho = 1{,}73\sqrt{\frac{P}{\pi\left(\Gamma - \frac{30.058}{10^6}.L\right)}}.$$

Enfin, si l'on prend comme plus haut $P = 2.500$ kil., $\Gamma = 10$ kil., et en outre $L = 25$ mètres, qui sont les données relatives aux deux hauts fourneaux actuellement en construction à Fraisans (Jura), on trouve

$$2\rho = 32^{m}.24,\ \text{soit } 33 \text{ millim.}$$

La compagnie des forges de Franche-Comté, tout en reconnaissant que les chaînes dont elle fait usage n'offrent pas les garanties voulues de solidité, ne s'attendait pas à un pareil diamètre pour les maillons des chaînes de ses nouveaux hauts fourneaux ; aussi se dispose-t-elle à employer les câbles en fil de fer.

NOTE

SUR LES PETITS CHEVAUX ALIMENTAIRES DES BATEAUX A VAPEUR DU RHÔNE.

Par M. DEBETTE, ingénieur des mines.

Autrefois, les petits chevaux alimentaires des bateaux à vapeur du Rhône avaient des pompes à clapets, dont le clapotage, en raison de leur vitesse, occasionnait beaucoup de bruit, et qui étaient assez sujets à se déranger par suite de cette même vitesse.

L'application des tiroirs aux souffleries a donné l'idée d'essayer des pompes également à tiroirs. Cet essai ayant réussi, et l'application en ayant été faite sur un assez grand nombre de bateaux, nous avons pensé qu'il ne serait pas sans intérêt d'en donner le dessin (Pl. XIII, *fig.* 3. 4 et 5).

Le cylindre à vapeur et le corps de pompe sont placés horizontalement sur un même bâti. Les tiges opposées de leurs pistons aboutissent aux deux côtés d'un coulisseau vertical, dans lequel se meut un manchon enfilé sur la manivelle d'un arbre coudé transversal, arbre qui porte d'un côté un petit volant, et de l'autre l'excentrique du tiroir de la pompe alimentaire, et au delà un bouton de manivelle qui donne le mouvement au tiroir du cylindre à vapeur.

Les deux pistons ont une course de $0^{m},22$. Le diamètre du cylindre à vapeur est de $0^{m},20$ et celui de la pompe de $0^{m},09$ seulement, c'est-à-dire que l'on a admis que les pertes de pression dans les conduites d'admission de vapeur, la contre-pression à l'échappement, les résistances de l'eau dans la conduite de refoulement, etc., absorbaient

plus des trois quarts de la force correspondant à la tension de la vapeur dans la chaudière.

Quoi qu'il en soit, ces dimensions, avec des chaudières dont le timbre est de 3 à 4 1/2 atmosphères, donnent un résultat satisfaisant; ces petits chevaux fonctionnent presque sans bruit et sont moins sujets à dérangement que ceux à clapets.

NOTE

SUR LES POMPES GENSOUL, PRODUISANT L'ÉLÉVATION DE L'EAU PAR CONDENSATION DE VAPEUR.

Par M. DEBETTE, ingénieur des mines.

Il existe encore à Lyon et dans le Midi, pour le service des établissements de bains et des teintureries, un assez grand nombre de pompes à vapeur, sans piston, basées sur le principe de l'aspiration par le vide résultant de la condensation de la vapeur. Ces pompes, connues sous le nom de pompes à la Gensoul, leur premier constructeur, ont été perfectionnées, il y a quelques années, par M. Saucourt, mécanicien à Lyon, et nous pensons qu'il n'est pas sans intérêt de faire connaître ces appareils élévatoires d'une simplicité extrême, qui donnent des résultats satisfaisants dans certains cas spéciaux, où l'eau qui est élevée doit ultérieurement être chauffée, et qui n'exigent pour fonctionner qu'une pression insignifiante de la vapeur motrice, pression qui n'est habituellement que de 1/10 d'atmosphère effective.

Les *fig.* 6 et 7, Pl. XIII, représentent l'élévation et la coupe verticale d'une pompe à la Gensoul à deux corps cylindriques en cuivre rouge de $0^m,20$ de diamètre et de $1^m,25$ de hauteur, lesquels sont fixés sur le fond de la bâche qui reçoit l'eau élevée ; à la partie inférieure de chaque corps de pompe, se trouve l'un des branchements du tuyau d'aspiration avec soupape s'ouvrant de bas en haut ; latéralement est le tuyau de refoulement avec deux soupapes s'ouvrant également de bas en haut ; une seule pourrait suffire, mais l'écoulement de l'eau serait moins rapide. Un petit tuyau coudé de $0^m,02$ de diamètre seulement, ouvert dans la

bâche où il se termine en pomme d'arrosoir, s'élevant de l'autre côté dans l'intérieur du corps de pompe, et terminé près de son dôme par une soupape s'ouvrant de bas en haut, sert au moment voulu à produire une injection d'eau dont l'effet est d'accélérer la condensation de la vapeur. Enfin l'admission de la vapeur dans l'un ou l'autre corps de pompe est réglée par un petit tiroir traîné par le mouvement de bascule d'un balancier attaché par des fils de fer à un vase en tôle en forme de W oscillant autour d'un petit axe horizontal, et recevant, tantôt dans l'un, tantôt dans l'autre de ses compartiments, un filet d'eau qui vient de la bâche et dont on règle la quantité au moyen d'un robinet.

Ainsi, par exemple, supposons que le vase régulateur vienne de culbuter autour de l'axe O, de telle sorte que le compartiment W se soit vidé, et que l'eau qui s'écoule de la bâche QQ par le robinet R soit reçue dans le compartiment V; à ce moment, la vapeur arrive par le tuyau T dans le corps de pompe A sous une pression un peu supérieure à celle de l'atmosphère; les soupapes d'aspiration S et d'injection I se ferment, et l'eau qui remplit le corps de pompe A s'écoule dans la bâche QQ en soulevant les soupapes de refoulement EE; en même temps les tringles en fil de fer KM, NL, ayant transmis le mouvement de bascule au balancier KL, ont fait tourner l'axe P de ce balancier qui, relié par un ressort à l'obturateur ou tiroir C, a découvert l'introduction de vapeur dans le corps de pompe A, et fermé cette introduction dans le cylindre B, dans lequel, un instant avant, toutes les soupapes se trouvaient fermées, et qui renfermait encore un peu d'eau dont la dépression au-dessous du niveau de celle de la bâche, représentait la pression effective de la vapeur. L'admission de vapeur fermée dans le corps de pompe B, celle qui s'y trouve se condense peu à peu par le contact de l'eau qui en occupe la partie inférieure, la soupape d'aspiration U se lève, et l'eau du puits s'élève peu à peu dans le corps de pompe. La

soupape d'injection J se lève également, et l'eau de la bâche qui arrive à la partie supérieure du corps de pompe et retombe en traversant l'espace occupé par la vapeur, en accélère beaucoup la condensation. Enfin, lorsque le compartiment V a reçu suffisamment d'eau, il bascule et se vide en découvrant l'introduction de vapeur dans le corps de pompe B et la fermant dans le corps de pompe A ; les effets qui viennent d'être décrits se produisent alors en sens inverse, tandis que le compartiment W se remplit d'eau à son tour.

On établit souvent ces appareils avec un seul corps de pompe, et l'on remplace aussi quelquefois le tiroir distributeur de vapeur C par un robinet convenablement foré.

En arrivant à Lyon, en 1852, nous avons trouvé installé à bord des bateaux à vapeur de la compagnie du Creusot un appareil fondé sur le même principe, et dont les *fig.* 7, 8 et 9 donnent les coupes verticale et horizontales.

A est la bâche dans laquelle l'eau est refoulée et d'où elle se dégage en rivière par le tuyau H.

Les corps de pompe sont au nombre de quatre, B,B',B'',B''', formés par un cylindre en tôle avec deux cloisons diamétrales à angle droit.

C,C',C'',C''' est une boîte à vapeur comprenant quatre compartiments qui communiquent respectivement avec les corps de pompe B,B',B'',B''' au moyen des tuyaux D,D',D'',D'''.

Un tiroir tournant *m*, mû par une manivelle à main ou par une poulie commandée par le petit cheval du bateau, découvre successivement chacun des orifices C,C',C'',C''' à l'admission de la vapeur qui afflue de la chaudière par le tuyau G, à l'effet de refouler l'eau qui s'est élevée dans le corps de pompe correspondant, tandis que le vide et l'aspiration se produisent dans les trois autres corps de pompe.

La poulie de commande était disposée de telle sorte que l'axe L du tiroir de distribution fît cinq tours à la minute; la pression de la vapeur dans la chaudière était de 3 atmo-

sphères; le volume représenté par les cylindrées de vapeur dans une minute était de 1^{mc},200 et la quantité d'eau élevée de 1 mètre cube.

Toutefois, on a reconnu que (par suite de la condensation considérable qui se produit dans cet appareil), pour la même quantité de vapeur consommée, les pompes ordinaires donnaient un effet utile plus élevé, et l'on a renoncé aux pompes de sauvetage ci-dessus, lesquelles ont cependant été présentées ultérieurement comme une invention nouvelle par M. Arnoux, de Marseille, qui a fait à Paris quelques essais dont les journaux et notamment le *Moniteur* ont entretenu le public à diverses reprises.

NOTE

SUR

L'EXPLOSION DE LA MACHINE LOCOMOTIVE N° 645, PRÈS DE LA STATION DE LAYBACH (CHEMIN DE FER SUD-AUTRICHIEN).

Par M. Mart. RIENER,
Conseiller et inspecteur impérial des chemins de fer autrichiens.

(Extrait des *Mémoires de la société des ingénieurs autrichiens* et traduit par M. LEBLEU, ingénieur des mines.)

Les explosions des chaudières de locomotives, qui se réduisent à un nombre heureusement très-restreint, laissent, lorsqu'un semblable accident se produit, des traces tellement funestes que l'attention du public et surtout celle des ingénieurs est toujours éveillée par les étranges effets de cette force d'expansion si considérable de la vapeur.

L'explosion, dont nous allons développer les effets, s'est produite d'une manière tellement extraordinaire qu'il ne paraît pas croyable que semblable accident se soit jamais présenté.

La locomotive N° 645 (portant autrefois le nom de Javornik), sortant avec 25 autres de la même espèce de l'établissement de construction de M. Günther, à Wiener-Neustadt, était livrée en 1856, à l'ouverture de la voie du Kart entre Laybach et Trieste. Depuis cinq ans qu'elle fonctionnait, cette machine, comme du reste toutes celles de la même série, ne donnait aucune inquiétude sur l'état de ses organes. Une inspection très-rigoureuse après l'explosion le prouve complétement.

Ces machines, construites d'après le système Engerth, portant leurs soutes à eau des deux côtés de la chaudière, ont 6 roues accouplées devant le foyer (roues d'un diamètre de 4 pieds = $1^m,256$) et derrière le foyer 4 roues porteuses servant à porter le tender. Elles sont calculées pour remorquer 18.000 qx bruts (900 tonnes environ) sur l'horizontale avec une vitesse de 3 lieues à l'heure.

Du 3 février au 14 mars 1861, la machine n° 645 était restée en réparation aux ateliers de Laybach; la réparation consistait à tourner les bandages des roues, à changer quelques tubes défectueux dans la chaudière et quelques pièces du mécanisme.

A cette occasion, cette machine subit une vérification très-minutieuse dans toutes ses diverses pièces En sortant des ateliers (le 24 mars), elle dut faire la réserve dans la station de Laybach. 24 heures de bon service démontrèrent qu'elle était capable de reprendre sa marche régulière, ce qui eut lieu, le 9 avril, en la substituant à la locomotive alors défectueuse du mécanicien Nowak.

La machine n° 645 devait prendre le train de marchandises n° 184, le 9 avril 1861, à 9 heures 55 minutes du matin.

Allumée à 5 heures du matin par le chauffeur Jershe, le niveau d'eau indiquait 8 pouces d'eau. Lors de l'arrivée du mécanicien, la pression était suffisante pour que la machine pût démarrer seule; elle quitta donc le dépôt vers 8 heures du matin pour prendre du charbon et de l'eau, et se mit ensuite en tête du train n° 184.

Un train de marchandises devant partir à 8 heures 44 minutes, la machine n° 645 fut obligée de faire une manœuvre de gare pour prendre encore un wagon, et se remit ensuite à son ancienne place pour attendre l'heure de départ, à 9 heures 55 minutes.

Pendant tout ce temps d'arrêt, le personnel du train et celui de la voie remarquèrent que le mécanicien ne fit point fonctionner le petit cheval-vapeur qui, monté du côté gauche de la machine, commande une pompe alimentaire. Cela était d'autant plus perceptible, que les coups de piston ainsi que le bruit des clapets signalent toujours d'une façon ostensible la mise en activité de la pompe. On pouvait seulement constater que pendant ladite manœuvre de gare, le mécanicien se servait de la pompe du côté gauche de la machine, renseignement donné par un aiguilleur qui a vu sortir de l'eau par le robinet d'épreuve de la pompe.

D'après ce qui précède, il n'y a donc aucun doute que, pendant tout le temps d'arrêt de la machine, le mécanicien n'alimenta pas. Or le peu d'eau pris pendant la manœuvre de gare ne devait pas suffire pour rétablir le niveau d'eau normal.

Le train, qui d'ailleurs partait à l'heure réglementaire, était obligé de passer immédiatement en sortant de la station par une courbe assez longue et très-prononcée, ce qui obligeait le mécanicien, pour atteindre la vitesse prescrite, de marcher à pleine vapeur et par conséquent de dépenser beaucoup d'eau. L'effet de l'échappement développait dans ces conditions un feu ardent dans le foyer.

Personne ne s'est aperçu pendant ce trajet (c'est-à-dire de la station jusqu'aux allées de Lattermann, endroit de l'accident) que

le mécanicien s'était servi d'une pompe, ce que le chef de train ainsi que le garde-frein auraient pu certainement remarquer, se trouvant sur le marche-pied du fourgon, l'un à gauche, l'autre à droite, et recevant de cette manière ordinairement des gouttes d'eau lancées par le jet du robinet d'épreuve d'une des pompes. Ces mêmes employés affirment de plus que les soupapes n'indiquaient aucune surabondance de vapeur.

Le convoi venait de dépasser l'étoile des allées de Lattermann, et le chef de train venait de se rendre dans son fourgon depuis une ou deux minutes, lorsque l'explosion eut lieu.

Après une vérification immédiate, la pompe du côté gauche se trouvait ouverte et celle du côté droit fermée.

Les effets de cette explosion sont extraordinaires :

Pendant que tout le bâti et le mécanisme, endommagé par l'explosion, ainsi que les soutes à eau, enfin toute la partie roulante de la machine, déraillant, ne s'arrêtaient qu'après avoir encore parcouru une distance de 29 klafter (58 mètres), la chaudière s'élançait dans l'espace en s'élevant d'abord à peu près verticalement, se débarrassant de ses supports, déchirant le joint de la plaque tubulaire et de la boite à fumée, décrivait un arc considérable, franchissait les fils télégraphiques sans les endommager et retombait à une distance de 79 klafter (158 mètres), à côté de la maisonnette du garde-voie n° 322. De là, elle se releva en laissant fichés en terre le dôme des soupapes et le sifflet, ayant dans la première chute porté sur cette partie, et franchit, en décrivant un second arc, la borne située devant la maisonnette du garde-voie, obstacle d'une hauteur de 10 pieds. Elle parcourut, pendant le trajet du deuxième arc, une distance de 18 klafter (36 mètres), et se trouva alors dans la même position qu'en sortant du bâti de la machine, ayant seulement l'ouverture du devant de la chaudière un peu rentrée vers le centre, pendant que le cadre du foyer ne laissait qu'une faible empreinte sur le terrain. Pendant ce trajet aérien, la chaudière ne quittait guère le plan vertical de sa position primitive, et tournait autour de son centre de gravité avec une telle vitesse, que quelques tubes du premier rang passèrent à travers la plaque tubulaire de la boite à fumée et se retrouvèrent à une distance de 250 klafter, bien étirés et polis comme s'ils eussent passé par une filière.

Pour se rendre compte de ce double mouvement, il faut remarquer qu'au moment de l'explosion, l'extérieur de la machine restait complétement intact, et qu'il n'y eut que la jointure du ciel du foyer contre la paroi de la boite à feu du côté de la porte qui, déchirée dans le coin, fit descendre les traverses du ciel en faisant

clapet à charnière dans le coin près de la paroi de la plaque tubulaire. De cette façon, la vapeur fut contrainte à se chercher une issue par le cendrier. La boîte à feu, déjà très-basse par sa construction, empêchait la libre sortie de la vapeur. La réaction est donc parfaitement compréhensible et comme le centre de gravité se trouvait à une certaine distance de l'endroit qui détermina l'explosion, le mouvement de rotation en fut la conséquence immédiate.

Il résulta de la vérification de la chaudière, que le ciel ne portait aucune incrustation, tandis que toutes les autres parties de la chaudière portaient de légères traces de tartre, et que quelques tubes du premier rang, principalement à l'entrée de la tubulure, étaient complétement brûlés.

En déduisant les conséquences du dernier fait, il n'y a aucun doute que le manque d'eau fut la première cause de cet accident singulier.

Quoique le niveau d'eau, indiquant au moment de l'allumage de la machine 3 pouces d'eau, fût à peu près normal, différentes manœuvres de gare, l'ouverture probable des réchauffeurs pendant le stationnement, l'attaque d'une courbe à petit rayon, toutes causes d'énormes dépenses de vapeur, durent faire baisser considérablement le niveau d'eau; par contre, l'échappement augmentant le tirage, développa une chaleur tellement intense, que le ciel du foyer se trouvant à nu rougit promptement. A la sortie de la courbe, vers les allées de Lattermann, le mécanicien alimenta; l'eau eut bientôt atteint les parties rouges du foyer et l'explosion eut lieu. Est-ce par suite du subit développement de vapeur dans des proportions extraordinaires ou par la décomposition et le développement des gaz? Les observations ne nous donnent aucune certitude là-dessus, mais la dernière hypothèse est la plus probable en comparant les effets à leurs causes.

Le mécanicien et le chauffeur de la machine ont été lancés à terre par l'explosion à une distance de 12 klafter (24 mètres); le dernier passant par-dessus les fils électriques, est tombé sur un pré, et tous les deux n'eurent que des blessures provenant des jets de vapeur, qui sont heureusement moins graves qu'on ne le croyait au premier abord. Leur guérison sera complète en peu de temps.

L'herbe des prés fût brûlée des deux côtés de la voie par la chaleur intense de la vapeur ou du gaz.

La *fig.* 1, Pl. XIII, donne la vue du train resté sur la voie. La courbe décrite par les diverses positions de la chaudière est

probablement une courbe beaucoup plus prononcée, suivant les empreintes qu'elles a laissées dans le terrain, par sa chute verticale devant la maisonnette du garde.

La *fig.* 2 représente le profil de la boîte à feu avec la position des traverses du ciel de foyer après l'explosion.

L'avis du mécanicien et du chauffeur ne peut encore être pris dans ce moment; j'espère pouvoir donner, dès que leur état le permettra, des renseignements beaucoup plus précis sur ce singulier accident.



TABLE DES MATIÈRES

DU TOME PREMIER.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

Pages.

»

MÉTALLURGIE. — MINÉRALURGIE.

MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

CONSTRUCTION. — CHEMINS DE FER.

NÉCROLOGIE.



EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME PREMIER.

Pl. I et II. *Emploi de la houille dans les machines locomotives* (page 1).

Pl. I.

Fig. 1 *à* 3. *Application du système Tenbrinck à une machine transformée* (0,114 de l'Est).

B, bouilleur.
θ,θ, tubulures d'assemblage.
t,t, tampons à vis pour visiter et nettoyer les tubulures et le bouilleur.
C, caisse à houille.
A, couvercle de la caisse.
p, palette pour régler l'admission de l'air.
q,q, levier de manœuvre de la palette.
D, ouverture permettant de piquer, en marche, la grille inclinée.
6,6, grille inclinée fixe, à barreaux unis.
a, arbre autour duquel bascule la grille horizontale mobile.
m, manivelle pour la manœuvre de la grille mobile.

Fig. 4 *à* 7. *Grille inclinée formée de barreaux en fonte et à ailettes.*

Dans la grille précédente, l'intervalle entre les barreaux incliné croît graduellement jusqu'à 20 millimètres.

Dans celle-ci, il passe brusquement, de 5 millimètres, entre les ailettes à 21 millimètres pour la moitié inférieure des barreaux.

Fig. 8 *et* 9. *Foyer pour brûler les menus, de M. Belpaire.*

La grille fixe inclinée et formée de cinq longueurs de barreaux.
a, grille horizontale à bascule.
P, contre-poids de la grille à bascule.
r,r, porte à deux vantaux formés chacun d'une grande brique armée de fer, et percée de trous permettant d'admettre l'air directement au-dessus du combustible.
E, essieu d'arrière de la machine (*Masui*, à quatre roues couplées).

Fig. 10, 11 *et* 12. *Disposition essayée sur le chemin de Lyon à la Méditerranée pour l'emploi des menus.*

O, mécanisme permettant d'incliner toute la grille.

Largeur des barreaux :	au sommet	18	millim.
	au bas	6	—
Épaisseur des barreaux		170	—
Intervalle entre les barreaux		12	—

Fig. 13 *et* 14. *Foyer de M. D. K. Clark avec introduction d'air au-dessus du combustible au moyen de jets de vapeur.*

t,t,t, tuyau de distribution prenant la vapeur sur la boîte à feu.
P, robinet pour régler l'introduction de vapeur.
e,e,e, entretoises creuses (huit à l'avant, huit à l'arrière) recevant chacune une petite tuyère embranchée sur le tuyau *t*.

N. B. Une disposition fondée, en partie, sur l'application d'un appareil analogue à celui de M. Clark, a été proposée au chemin de Lyon à la Méditerranée. Elle est en ce moment à l'étude; il serait donc prématuré d'entrer dans des détails sur ce sujet.

Pl. II.

Fig. 1 *à* 7. *Application du foyer Tenbrinck à une chaudière neuve du chemin de fer d'Orléans.*

Fig. 1, 2, 3.

h, couvercle de la caisse à houille; *b*, bouilleur.
t,t, tubulures d'assemblage de bouilleur.
б,б, barreaux de la grille inclinée.
g, barreaux de la grille mobile horizontale.
a, axe autour duquel bascule la grille horizontale.
m, manivelle servant à abaisser et à relever la grille horizontale.

N. B. On voit qu'au chemin de fer d'Orléans la manœuvre de la grille s'opère de la plate-forme de la machine, tandis qu'au chemin de l'Est elle se fait au-dessous de la machine. Chacune de ces dispositions a des avantages qui lui sont propres; la seconde est cependant préférable en général, puisque le piquage du feu exige la présence d'un homme sous la machine, et que cet homme peut aussi alors donner à la grille l'inclinaison convenable, tandis que le premier mode exige en même temps la présence d'un homme sur la plate-forme; celui ci est par contre plus commode pour jeter le feu sur la voie en cas d'accident, de ruptures de tubes, etc. En somme, le mieux serait de réunir les deux dispositions permettant de faire la manœuvre indifféremment du haut ou du bas.

c, contre-poids équilibrant la grille à bascule.
d, clapet permettant de piquer, de dessus la plate-forme, la grille inclinée.

Fig. 4, coupe d'un des bords latéraux du bouilleur, contre la paroi du foyer; le petit intervalle qui existe entre le bord et la paroi est bouché par un bourrelet d'argile réfractaire.

Fig. 5, coupes transversales d'un barreau intermédiaire et d'un barreau extrême de la grille inclinée.

Fig. 6 et 7, coupes horizontales des cadres d'assemblage du foyer et de la boîte à feu latéralement à la caisse à houille.

Fig. 8, élévation longitudinale et coupes transversales, au milieu, des barreaux inclinés (le trait pointillé indique la coupe et le profil d'un barreau extrême), et plan de deux barreaux intermédiaires.

Fig. 9, plan d'un barreau extrême.

N. B. Dans cette grille, l'intervalle entre les barreaux croît progressivement de 5 millimètres cote au sommet, à 15 millimètres cote au bas.

Dans la grille mobile et horizontale, l'intervalle entre les barreaux de 20 millimètres.

Fig. 11 à 13, *système de M. Toni Fontenay.*

b, bouilleur.

t, tubulures en fonte du bouilleur.

6,6, barreaux inclinés; pour réduire la perte de surface de chauffe qui résulte de cette inclinaison, l'auteur a rapproché graduellement de la position horizontale les barreaux voisins des parois du foyer. Ceux-ci viennent s'appuyer au moyen d'un appendice vertical (*fig.* 13) sur le support général qui fait suite à la tablette horizontale sur laquelle on charge le combustible.

ERRATUM.

Page 506, ligne 12e de la note, *au lieu de :* Pl. X, *lisez :* Pl. XII.

FIN DU TOME PREMIER.

Paris. — Imprimé par E. Thunot et Cie, rue Racine, 26.

BIBLIOGRAPHIE.

PREMIER SEMESTRE DE 1862.

OUVRAGES FRANÇAIS.

FREYCINET (de). Des pentes économiques en chemins de fer; recherches sur les dépenses des rampes. In-8, XIII-290 p. — Paris, impr. et libr. Mallet-Bachelier.

BOUTAN et D'ALMEYDA. Cours élémentaire de physique. 1 fort vol. in-8, avec de nombreuses gravures dans le texte. — Dunod, à Paris.

DELESSE. De l'azote et des matières organiques dans l'écorce terrestre. In-8°, 13 feuilles. — Paris, Dunod, 1861.

F. CHATILLON DE BRUGHAT. L'art du briquetier. 1 vol. in-8° de 366 p. et atlas de 32 pl. in-8° doubles.

GRAEFF. Construction des canaux et des chemins de fer; histoire critique des travaux exécutés dans les Vosges, au chemin de fer de Paris à Strasbourg et au canal de la Marne au Rhin, analyse détaillée et classement méthodique des dépenses faites pour ces travaux.

Annuaire du Cosmos, 3e année. 1 beau vol. in-18, de 540 p. — Paris, libr. A. Tramblay et Leiber.

Annales du Conservatoire impérial des arts et métiers, par MM. les professeurs. M. Ch. Laboulaye, directeur.

AUBRÉVILLE (d'). Appareils pour découvrir et préciser les fuites de gaz dans les tuyaux de conduite ou dans les appareils d'éclairage et de chauffage.

OPPERMANN (C. A.). Album pratique de l'art industriel. Recueil d'ornements et d'accessoires décoratifs modernes, relatifs aux constructions économiques, etc. Un cahier tous les deux mois. — Paris, Dunod.

Oppermann. Nouvelles annales d'agriculture. Revue des fermes impériales, organe de la compagnie des constructions rurales économiques, de la compagnie générale du drainage et de la Société d'acclimatation. 3ᵉ année, 1ᵉʳ semestre.

Oppermann. Nouvelles annales de la construction. Publication rapide et économique des documents les plus récents et les plus intéressants relatifs à la construction française et étrangère. 6ᵉ année. 184 p. in-fol. à 2 colonnes et 54 pl. in-fol. — Paris, libr. Dunod.

Oppermann. Portefeuille économique des machines, de l'outillage et du matériel relatifs à la construction, aux chemins de fer, aux routes, à l'agriculture, à la navigation, aux mines, aux télégraphes, etc. — Paris, libr. Dunod.

Oppermann. Nouvelles annales d'agriculture. Revue des fermes impériales, organe de la Compagnie des constructions rurales économiques, de la Compagnie générale du drainage et de la Société d'acclimatation. Destiné aux agriculteurs, propriétaires, présidents et membres des comices agricoles, maires, instituteurs primaires, etc. 1ʳᵉ année. Janvier à juin 1859. Gr. in-4, à 2 col., 36 p. et 2 pl. doubles.

Bobierre. Études chimiques sur l'étamage des vases destinés aux usages alimentaires. In-8, 26 p.

Casanova. Manuel de la charrue. In-18 jésus, 180 p. et vignettes.

Degousée et Laurent. Guide du Soudeur, ou Traité théorique et pratique des sondages. Ouvrage accompagné d'un grand nombre de figures dans le texte et d'un atlas. 2ᵉ *édition*, revue, corrigée et considérablement augmentée. 1 vol. in-8, XII-1031 p. et atlas in-8 de 60 pl. doubles.

Demanet (A.). Cours de construction. 2ᵉ *édition*, entièrement refondue et considérablement augmentée. 1ᵉʳ vol., 1ʳᵉ sect. Grand in-8, 324 p.

Didion. Traité de balistique. 2ᵉ *édition*, revue et augmentée. 1 vol. in-8 de 603 p. et 6 pl. contenant 55 fig.

Franquoy (J.). Des progrès de la fabrication du fer dans le pays de Liége. 1 vol. in-8, 146 p., 1861. — Liége.

Gournerie (de la). Notice sur le canal du Gange.

Lamé-Fleury (E.). Code annoté des chemins de fer en exploitation, ou Recueil méthodique et chronologique des lois, décrets, ordonnances, arrêtés, etc., concernant l'exploitation technique et commerciale des chemins de fer, publié, annoté au moyen de décisions des autorités administrative et judiciaire, et mis en ordre. In-8, XIV-701 p.

Redtenbacher (F.). Résultats scientifiques et pratiques pour la construction des machines. Traduit de l'allemand sur la 4e édition. 1 vol. in-8, 479 p. et atlas de 41 pl.

Seligman (Ch.). Essai chimique sur les eaux potables approprié aux eaux de la ville de Lyon. Deuxième mémoire présenté à la Société impériale d'agriculture, d'histoire naturelle et des arts utiles de Lyon. In-8, 41 p.

Thiry (Louis). Données sur l'exploitation de la houille dans la province de Liége. Réfutation, à l'aide de faits pratiques, en ce qui a rapport au bassin de Liége, du mémoire de M. Émile Tonneau sur l'exploitation de la houille en Belgique. Une broch. in-8, de 30 p.

Agriculture française, par MM. les inspecteurs de l'agriculture, publiée d'après les ordres de M. le ministre de l'agriculture et du commerce.

Andrew Ure (D. M.). De la fabrication du coton, de la laine, du lin et de la soie, avec la description des diverses machines employées dans les ateliers anglais; traduit sous les yeux de l'auteur, et augmenté d'un chapitre inédit sur l'industrie cotonnière française, etc. 1 vol. in-12 en deux parties, 755 p. avec bois dans le texte et 2 pl.

Basset. Guide pratique du fabricant de sucre, contenant l'étude théorique et technique des sucres de toute provenance, la saccharimétrie chimique et optique, la description et l'étude culturale des plantes saccharifères, les procédés usuels et manufacturiers de l'industrie sucrière, et les moyens d'améliorer les diverses parties de la fabrication. 1 vol. in-8, avec bois dans le texte (1861).

Benoit (P. M. N.). Cours complet de topographie et de géodésie. Traité des levers à la planchette, à la boussole et au goniomètre, précédé de généralités sur les descriptions graphiques des corps et du globe terrestre en particulier. 1 vol. in-8, 495 p. et 12 pl.

Boileau (P.). Instruction pratique sur les scieries, contenant : l'étude et les valeurs de la résistance des matériaux à l'action de l'outil; des considérations théoriques, des résultats d'expériences et des règles pratiques pour la détermination des proportions et des vitesses des différentes parties des mécanismes, etc. 2e *édition*. 1 vol. in-8, 108 p., 4 pl. in-fol. (1861).

Bulletin de la Société de l'industrie minérale. Publication trimestrielle, publiée par les soins de ladite Société.

Devillez (A.). De l'exploitation de la houille, à la profondeur d'au

moins mille mètres. 2e *édition*, revue et augmentée. 1 vol. in-8, 222 p. et 2 pl. (1859).

Distribution de l'eau potable dans les fontaines publiques, les établissements industriels et les maisons particulières de Berlin. Dessins et constructions de bâtiments, bassins, réservoirs, machines, pompes et filtres de l'usine établie en 1855 par une société anglaise. 25 pl. in-plano et 18 p. de texte allemand et français (1860).

Dubois (E. P.). Cours de navigation et d'hydrographie. 1 vol. in-8, 679 p. avec bois dans le texte et pl. (1860).

Goyard. Nouveau tarif du poids des fers et des fontes de toutes dimensions, divisé en plusieurs catégories, suivi d'autres tarifs pour le plomb en feuilles et en tuyaux, pour le zinc en feuille de tous numéros. In-8, 59 p.

Perdonnet (A.). Portefeuille de l'ingénieur des chemins de fer, contenant tous les détails de construction du matériel de ces voies de communication, les cotes et les prix de revient conformes aux devis de chemins exécutés, etc. 3 vol. in-8, dont un texte avec tableaux et bois; un de documents avec tableaux et bois. Le troisième volume comprend les légendes explicatives des 170 pl. in-fol. qui composent l'atlas 1861.

Recueil des travaux de la Société des anciens élèves des écoles impériales d'arts et métiers pour l'année 1860. In-8, 337 p. et 13 pl.

Alcan. Des progrès à réaliser dans la fabrication des fils, par Michel Alcan. In-8, 28 p. — Paris, impr. Bourdier et Ce.

Annuaire de l'Institut des provinces, des sociétés savantes et des sociétés scientifiques. 2e série. 3e vol. 13e vol. de la collection (1861). In-8, xxiv-507 p. — Caen, impr. et libr. Hardel; Paris, libr. Derache; Dentu.

Bernardi. Monographie du genre *conus*, par le chevalier A. Bernardi, peintre, naturaliste, etc. Accompagnée de 2 pl. coloriées. faisant suite aux monographies de Reeve, Kiéner et Sowelby, In-4°, — Paris, impr. Lainé et Havard; libr. Rothschild.

Bobierre. Études chimiques sur le phosphate de chaux et son emploi en agriculture, comprenant l'examen des coprolithes et nodules pseudo-coprolithiques, des phosphorites d'Espagne, etc. Leçons professées à l'École préparatoire des sciences et des lettres de Nantes. 2e *édition*, revue et très-augmentée. In-8, 186 p. et 2 pl. — Nantes, impr. ve Mellinet; Paris, libr. agricole.

Daguin. Traité élémentaire de physique théorique et expérimentale, avec les applications à la météorologie et aux arts indus-

triels, à l'usage des facultés, des établissements d'enseignement secondaire et des écoles spéciales du gouvernement. 2ᵉ *édition*, entièrement refondue, avec un grand nombre de figures intercalées dans le texte. T. I et II, in-8, 1,318 p. — Toulouse, impr. Bonnal et Gibrac; libr. Privat; Paris, Dezobry, Magdeleine.

FOCILLON. Premières leçons d'histoire naturelle, à l'usage de tous les établissements d'instruction publique. Zoologie. Botanique. Minéralogie. In-18 jésus, 395 p., planche et figure intercalées dans le texte. — Paris, impr. Claye; libr. Dezobry, Magdeleine et Cᵉ.

GOBLEY. Examen chimique d'un calcul biliaire, présenté à l'Académie de médecine, suivi de considérations sur les différentes phases de sa formation et sur les meilleurs dissolvants des calculs biliaires. In-8, 15 p. — Paris, impr. Thunot et Cᵉ.

LACOSTE. Cours élémentaire d'agriculture, à l'usage des écoles primaires. In-16, 236 p. — Chambéry, impr. Puthod fils.

Aide-mémoire à l'usage des officiers d'artillerie. 3ᵉ *édition*. 2ᵉ tirage. In-8, LV-1024 p. — Strasbourg, impr. et lib. vᵉ Berger-Levrault et Paris, même maison.

CURTEL. Considérations sur la fabrication et la meilleure forme à donner à la section des rails, suivies d'une étude sur la question des fers, sous le point de vue de la nouvelle convention commerciale avec l'Angleterre. In-8, 70 p. — Châlons-sur-Saône, impr. Dejussieu.

DESMOUSSEAUX DE GIVRÉ. Seconde note sur la coulisse de Stephenson et les appareils de distribution à tiroir unique. In-8, 27 p. — Neuilly, impr. Guiraudet.

MARTIN. De l'étage bathonien et de ses subdivisions dans la Côte-d'Or. In-8, 13 p. et pl. — Paris, impr. Martinet.

PAULET. Mémoire sur le stadiomètre, nouvel instrument destiné à l'appréciation des distances. In-8, 27 p. et planche. — Sceaux, impr. Dépée; Paris, libr. Corréard.

POINSOT. Éléments de statique, suivis de quatre mémoires sur la composition des moments et des aires, sur le plan invariable du système du monde, sur la théorie générale de l'équilibre et du mouvement des systèmes, et sur une théorie nouvelle de la rotation des corps. 10ᵉ *édition*. In-8, VI-328 p. et 4 pl. — Paris, impr. et libr. Mallet-Bachelier.

STURM. Cours de mécanique de l'École polytechnique; publié d'après le vœu de l'auteur par E. Prouhet, répétiteur à l'École polytechnique. T. II. In-8, XI-479 p. — Paris, impr. et libr. Mallet-Bachelier.

VUIGNER et FLEUR SAINT-DENIS. Pont sur le Rhin à Kehl. Sur les dispositions générales et d'exécution de cet ouvrage d'art. In-8, XXIII-157 p. et atlas de de 22 pl. — Paris, impr. Hennuyer; libr. Dunod.

Académie des sciences et lettres de Montpellier. Mémoires de la section des sciences. T. V. 1er fascicule. Année 1861. In-4°, 131 p. et 5 pl. — Montpellier, impr. Boehm et fils.

BESSEMER. Fabrication du fer et de l'acier. (Communication de l'auteur à la Société des ingénieurs civils de Londres et discussion qui s'y rattache.) Traduct. par M. Chobrzynski. In-8, 32 p. et pl. Neuilly, impr. Guiraudet.

Cours d'arithmétique théorique et pratique, par le frère P... 2e *édition*. In-12, 412 p. — Lyon, impr. ve Mougin-Rusaud; au pensionnat des frères.

JOLY. Concours régional de Toulouse. Rapport de M. le docteur Joly, professeur à la Faculté des sciences. In-8, 11 p. — Toulouse, impr. Douladoure.

LA SALLE. Étude sur le procédé Bessemer. In-8, 64 p. — Neuilly, impr. Guiraudet.

MOLINOS et PRONNIER. Étude sur l'utilisation des routes à l'établissement de chemins de fer économiques. In-8, 51 p. — Paris, impr. Hennuyer; libr. Morel.

PUILLE. Leçons d'algèbre normales élémentaire, théorique et appliquée, à l'usage des divers établissements d'instruction publique. *Nouv. édit.*, revue avec soin et augmentée, conforme au dernier programme officiel des écoles normales primaires, etc. In-12, VIII-304 p. — Paris, impr. Renou et Maulde; libr. Fouraut.

SAINT-LOUP. Traité de la résolution des équations numériques, à l'usage des candidats aux Écoles polytechnique et normale. In-8, VIII-151 p. — Strasbourg, impr. ve Berger-Levrault; Paris, libr. Mallet-Bachelier.

Traité sur les postes et les télégraphes; lois et décrets récents sur les postes et la télégraphie, législation, jurisprudence et notions générales, tableau des droits de poste et de la télégraphie, par une société de jurisconsultes. *Nouvelle édition*. In-18, XVI-130 p. — Paris, libr. Ruffet (1862).

BOUCHER DE PERTHES. De la génération spontanée. In-12, 14 p. — Abbeville, impr. Briez; Paris, libr. Jung-Treuttel; Derache; Dumoulin; Didron.

ELOFFE. Traité pratique du naturaliste préparateur. In-18, XI-225 p. et 7 pl. — Paris, impr. Bonaventure et Ducessois; libr. Albessard et Bérard.

JUTIER et LEFORT. Études sur les eaux minérales et thermales de Plombières, comprenant des considérations générales sur l'origine géologique des sources minérales de l'Est de la France, l'historique, le captage, l'aménagement, le débit, les propriétés physiques et chimiques, l'analyse et la composition des eaux minérales de Plombières. Avec plan de la ville et carte des environs de Plombières. Grand in-8, 220 p. — Paris, impr. Martinet; libr. J. B. Baillère et fils; Plombières (1862).

Observations météorologiques faites à la Faculté des sciences de Montpellier pendant l'année 1860. In-4°, 6 p. et 13 tabl. — Montpellier, impr. Boehm et fils.

Recueil des travaux de la Société des anciens élèves des écoles impériales d'arts et métiers pour l'année 1861. In-8, 293 p. et 6 pl. — Saint-Nicolas, impr. Trenel.

DUMAS. Sur le puits foré de Passy. Institut impérial de France. In-4°, 11 p. — Paris, impr. et libr. Mallet-Bachelier.

DUMOULIN. De l'eau de la source de Salins et de son emploi en thérapeutique. In-8, 58 p. — Strasbourg, impr. Silbermann; Paris, libr. Germer Baillière.

DURAND. Note sur l'aménagement des bois taillis, sur la nécessité de conserver les futaies et d'en augmenter la superficie. In-8, 15 p. — Lyon, impr. Barret.

MAULBON D'ARBAUMONT. Méthode pratique pour la résolution des équations numériques du troisième degré. Extrait. In-8, 31 p. — Paris, impr. et libr. Mallet-Bachelier.

MEISSAS. Notions élémentaires de chimie. 3e *édition*, revue et augmentée. In-18, 268 p. — Paris, impr. Lahure et Ce; libr. L. Hachette et Ce.

PERSOZ. Alcalimétrie. Nouveau procédé des hydrates et carbonates alcalins. In-8, 19 p. — Paris, impr. Bourdier et Ce.

— Mémoire sur les oxydes complexes. In-8, 12 p. — Paris, impr. Bourdier et Ce.

ROBIN. Guide théorique et pratique des cultivateurs, ou enseignement clair et précis de la science agricole moderne. In-8, 284 p. — Nevers, impr. Fay; libr. Ducourthial; Saint-Pierre le Moutier, l'auteur.

SERRET. Éléments d'arithmétique, à l'usage des candidats au baccalauréat ès sciences, à l'École spéciale militaire de Saint-Cyr, à l'École forestière et à l'École navale. 3e *édition*, revue et augmentée de la table des logarithmes des nombres de 1 à 10,0

calculés avec cinq décimales. In-8, XVI-220 p. — Paris, impr. et libr. Mallet-Bachelier.

Abrégé de géométrie appliquée au dessin linéaire, à l'arpentage, au nivellement et au lever des plans, suivi des principes de l'architecture et de la perspective, par F. P. B. A l'usage des écoles chrétiennes. In-12, VIII-284 p. et fig. — Tours, impr. et libr. Mame et Cᵉ; Paris, libr. vᵉ Poussielgue-Rusand.

DUCHESNE. De la colique de plomb chez les ouvriers émailleurs en fer, et des moyens proposés pour les préserver de cette maladie. In-8, 32 p. — Paris, impr. Martinet; libr. J. B. Baillière et fils.

ROZE. Tarif de prix de tous les matériaux et ouvrages employés dans la construction des bâtiments, contenant la terrasse, la maçonnerie, la charpente, la couverture, la ferblanterie et plomberie, la plâtrerie, la menuiserie, la serrurerie, la fumisterie, la marbrerie, la peinture, vitrerie, tenture et dorure, le pavage; à l'usage des propriétaires, des entrepreneurs, des ouvriers et de tous ceux qui s'occupent de l'art de bâtir. In-8, 143 p. — Tours, impr. Ladevèze; libr. Guilland-Verger.

SOUBEIRAN. Rapport sur le mémoire de M. Lamiral, relatif à l'acclimatation des éponges dans les eaux de la France et de l'Algérie. Société d'acclimatation, séance du conseil du 14 août 1861. In-8, 7 p. — Paris, impr. Martinet, 19, r. de Lille.

ADHÉMAR. Traité de charpente. 3ᵉ *édition*. In-8, VII-512 p. et atlas grand in-fol. de 66 pl. — Paris, impr. Thunot et Cᵉ; libr. Dunod; Asselin.

BEAUMONT (de). Éloge historique de Adrien-Marie Legendre; lu à la séance publique annuelle du 25 mars 1861. Académie des sciences. Institut impérial de France. In-4°, 58 p. — Paris, impr. F. Didot frères, fils et Cᵉ.

BOYE. Suppression du rouissage du lin et du chanvre, teillage de toutes les plantes textiles. In-8, 15 p. — Paris, impr. Marchand frères; libr. Ledoyen.

CAUVET. Étude sur le rôle des racines dans l'absorption et l'excrétion. Thèse de botanique présentée à la Faculté des sciences de Strasbourg. In-8, 124 p. — Strasbourg, impr. Silbermann.

Connaissance des temps ou des mouvements célestes, à l'usage des astronomes et des navigateurs, pour l'an 1863; publiée par le bureau des longitudes. In-8, LXXXVI-490 p. — Paris, impr. et libr. Mallet-Bachelier.

Cours complet de géographie physique, politique et historique, à l'usage des lycées et autres établissements d'instruction publique,

rédigé conformément au dernier programme officiel de l'Université, pour accompagner l'atlas de géographie de M. Babinet, membre de l'Institut. In-18 jésus, 1040 p. — Paris, impr. P. Dupont; libr. L. Hachette et Ce; Bourdin.

Dussieux. Cours de géographie physique et politique. 4e *édition*, In-12, XII-395 p. — Paris, impr. Raçon et Ce; libr. Lecoffre et Ce.

Barrière. Translation du tablier du pont sur le Rhin. In-8, 12 p. — Saint-Nicolas, près Nancy, impr. Trenel.

Baudrimont. La vigne, l'oïdium, le vin. Trois leçons du cours de chimie agricole institué près la Faculté des sciences de Bordeaux; suivies d'une notice sur la préparation des boissons artificielles. In-8, 144 p. — Bordeaux, impr. Gounouilhou; libr. Chaumas.

Chaudières verticales à bouilleur intérieur avec système spécial de chauffage. In-8, 4 p. — Saint-Nicolas, près Nancy, impr. Trenel.

Ciccone. Études sur le corps gras du ver à soie; traduit de l'italien par le docteur Montagne, membre de l'Institut. In-8, à 2 col., 11 p. — Paris, impr. Lahure et Ce; libr. agricole.

Ganot. Traité élémentaire de physique expérimentale et appliquée et de météorologie, suivi d'un recueil nombreux de problèmes et illustré de 630 belles gravures sur bois intercalées dans le texte, à l'usage des établissements d'instruction, des aspirants aux grades des Facultés, etc. 10e *édition*, augmentée de 44 gravures nouvelles, du télégraphe imprimant de Hughes, et des travaux les plus récents sur les différentes branches de la physique. In-18 jésus, 857 p. — Paris, impr. Wiesener; l'auteur, 12, rue de l'Éperon; Lyon, libr. Briday.

Roy. Note sur différents moyens essayés pour faciliter le passage des locomotives dans les courbes. In-8, 10 p. — Saint-Nicolas, près Nancy, impr. Trenel.

Serret. Sur l'intégration des équations aux dérivées partielles du premier ordre. Institut impérial de France. Académie des sciences. In-4°, 21 p. — Paris, impr. et libr. Mallet-Bachelier.

Vésian (de). Projet d'amélioration du régime navigable de la Loire. In-8, 39 p. — Tours, impr. Ladevèze.

Vinot. Petite table des logarithmes disposée dans le double but: 1° de donner les résultats suffisamment exacts des opérations qu'ont à faire les ouvriers, contre-maîtres, entrepreneurs, architectes; 2° de créer, à peu de frais pour les élèves, une bonne initiation à l'usage des tables de Callet, à l'usage des écoles primaires. In-8, 8 p. — Paris, impr. Donnaud; libr. André Guédon.

Briot et Vacquant. Éléments de géométrie conformes aux programmes de l'enseignement scientifique dans les lycées. Appli-

cation. 3[e] *édition*. In-8, IV-168 p. et 9 pl. — Paris, impr. Lahure et C[e]; libr. L. Hachette et C[e].

DAVY. Recherches théoriques et expérimentales sur l'électricité considérée au point de vue mécanique. In-8, VIII-100 p. — Paris, impr. Martinet; libr. Victor Masson et fils.

GOSSIN. Enseignement agricole. In-8, à 2 col., 12 p. — Paris, impr. Lainé et Havard; libr. Lacroix.

LARRIVET. Cours de trigonométrie rectiligne appliquée. Manuel à l'usage des géomètres, agents-voyers, conducteurs, etc. In-8, 82 p. et 3 pl. — Agen, impr. Noubel.

MALAGUTI. Cours de chimie agricole professé en 1860 par M. Malaguti, doyen de la Faculté des sciences de Rennes, rédigé par M. A. Marteville et publié par la Société départementale d'agriculture. In-12, 127 p. — Rennes, impr. Oberthur.

CALONNE (de). Des accidents sur les chemins de fer. In-8, 7 p. — Paris, impr. Dubuisson et C[e].

COCHET. Résumé d'un mémoire sur la découverte, l'origine et la vulgarisation en Europe des propriétés du guano, tant pour l'agriculture que pour les arts industriels. In-8, 24 p. — Paris, impr. Blot.

DU TEMPLE. Du scaphandre et de son emploi à bord des navires. In-8, 31 p. et 2 pl. — Paris, impr. v[e] Bouchard-Huzard; libr. Arthus Bertrand.

LALOBBE (de). Cours de topographie élémentaire à l'usage des officiers de l'armée. 2[e] *édition*. In-18 jésus, XV-287 p. et 10 pl. — Paris, impr. et libr. Cosse et Dumaine.

Mémoires d'agriculture, d'économie rurale et domestique, publiés par la Société impériale et centrale d'agriculture de France. Année 1860. In-8, 532 p. — Paris, impr. et libr. v[e] Bouchard-Huzard.

BERBRUGGER. Les puits artésiens des oasis méridionales de l'Algérie. 2[e] *édition*. In-18, 136 p. — Alger, impr. Bastide; Constantine, libr. Alessi et Arnolet; Paris, libr. Challamel.

CLEGG. Des avantages de l'éclairage et du chauffage par le gaz; extrait du Traité de l'éclairage au gaz de Samuel Guegg. In-32, 13 p. — Saint-Étienne, impr. v[e] Théolier.

DUCOIN-GIRARDIN. Entretiens sur la physique et ses applications les plus curieuses. 5[e] *édition*. In-16, 400 p., avec fig. et portrait. — Tours, impr. et libr. Mame et C[e].

LEGUEN. Amélioration des métaux employés à la fabrication des canons rayés et à celles des armes blanches. In-8, 43 p. — Paris, impr. et libr. Cosse et Dumaine.

MAUMENÉ. Note sur un nouveau procédé pour l'analyse des mélanges de potasse et de soude. In-8, 8 p. — Reims, impr. Dubois.

FIGUIER. Les eaux de Paris, leur passé, leur état présent, leur avenir. In-18 jésus, VIII-295 p. — Paris, impr. Raçon et Cᵉ; libr. Michel Lévy frères (1862).

MEAUME. Programme du cours élémentaire de législation et de jurisprudence professé à l'École impériale forestière. 2ᵉ partie, Cours de seconde année. In-8, 245 p. — Nancy, impr. vᵉ Raybois (1862).

Encyclopédie pratique de l'agriculture, publiée par Firmin Didot frères, fils et Cᵉ, sous la direction de MM. L. Moll, professeur d'agriculture, etc., et Eug. Gayot, ancien directeur de l'administration des haras. Tome VI. (Dactyle — Entrecoupers'.) In-8, 487 p. avec fig. dans le texte. — Paris, impr. et libr. Firmin Didot frères, fils et Cᵉ.

PARVILLE (de). Causeries scientifiques, découvertes et inventions. Progrès de la science et de l'industrie. 1ʳᵉ année. In-18 jésus, VII-460 p., 28 grav. — Paris, impr. Raçon et Cᵉ; libr. Savy (1862).

DELAUNAY. Cours élémentaire d'astronomie, concordant avec tous les articles du nouveau programme officiel pour l'enseignement de la cosmographie dans les lycées. 3ᵉ *édition*. 1 vol. grand in-18, avec 389 figures dans le texte. — Paris, libr. Victor Masson et fils.

DELAUNAY. Traité de mécanique rationnelle, contenant les éléments de mécanique exigés pour l'admission à l'École polytechnique et toute la partie théorique du cours de mécanique et machines de cette école. 2ᵉ *édition*. 1 vol. in-8, avec 127 gravures dans le texte. — Paris, libr. Victor Masson et fils.

DRION (CH.) et ÉM. FERNET. Traité de physique élémentaire, suivi de problèmes. Paris, 1861, 1 vol. Grand in-18 avec figures dans le texte. — Paris, libr. Victor Masson et fils.

GERHARDT et CHANCEL. Précis d'analyse chimique quantitative. 1 vol. grand in-18, avec fig. — Paris, libr. Victor Masson et fils.

GAVARRET. Physique médicale. De la chaleur produite par les êtres vivants. Paris, 1855, 1 vol. grand in-18, avec figures dans le texte. — Paris, libr. Victor Masson et fils.

CLERAULT (ST.-CH.) Traité des établissements dangereux, insalubres ou incommodes. 1 vol. in-8. — Paris, libr. Cosse et Marchal.

MARTEL (ALPHONSE). Manuel de la salubrité, de l'éclairage et de la petite voirie, ou répertoire alphabétique, raisonné et pratique des lois, règlements, arrêtés, décrets et ordonnances de police,

concernant la salubrité, l'éclairage et la petite voirie. 1 vol. in-18. 1859. — Paris, libr. Cosse et Marchal.

ROUVENAT (P. E.). Essai sur l'emploi des fers à double T dans la construction des planchers. 1 vol. in-8. — Paris, Cosse et Marchal.

Prix de règlement applicables aux travaux de bâtiments, établis par le bureau de vérification et de règlement de la préfecture de la Seine, publiés avec l'autorisation de M. le préfet. — Paris, libr. Cosse et Marchal.

DAVIEL. Traité de la législation et de la pratique des cours d'eau. 3e *édition*, revue et considérablement augmentée, comprenant un commentaire sur la loi du 29 avril 1845 sur les irrigations. 3 vol. in-8. — Paris, libr. Cosse et Marchal.

CHAMPIONNIÈRE. De la propriété des eaux courantes, du droit des riverains et de la valeur actuelle des concessions féodales. 1 très-fort vol. in-8. — Paris, libr. Cosse et Marchal.

REBEL. Traité théorique et pratique de la législation et de la jurisprudence des chemins de fer. 1 vol. in-8. — Paris, libr. Cosse et Marchal.

D'INGREMARD. Les concessionnaires de chemins de fer et la propriété. Guide des propriétaires, fermiers, locataires et autres indemnitaires, atteints par le tracé d'un chemin concédé, et qui ont l'intention de traiter à l'amiable avec la compagnie concessionnaire de ce chemin de fer. 1 vol. in-18. 1860. — Paris, libr. Cosse et Marchal.

LALOU (H.). Manuel réglementaire et pratique de la navigation intérieure, ou traité raisonné des lois, ordonnances, arrêtés et coutumes qui régissent la navigation intérieure de la France, complété par une carte générale de tous les canaux et cours d'eau de la France et de la Belgique. 1 fort vol. in-8. 1858. — Paris, libr. Cosse et Marchal.

LEDIEU (A.). Traité élémentaire des appareils à vapeur de navigation. Ouvrage publié avec l'autorisation de Son Exc. M. de Chasseloup-Laubat, ministre de la marine et des colonies, à l'usage des constructeurs, des officiers de vaisseau, des élèves de l'école navale et notamment des candidats aux divers grades de maîtres mécaniciens. Rédigé, pour la partie théorique, d'après les renseignements d'un grand nombre d'ingénieurs de l'État et du commerce, et, pour la partie pratique, d'après les notes de M. Gautrin, monteur en chef à l'usine d'Indret, et de MM. Trotabas, Cochet, Juvénal, Florentin, etc., premiers maîtres mécaniciens de la marine impériale, enrichi de 450 gravures intercalées dans le texte et représentant tous les dessins exigibles au tableau

dans les examens. Tome Ier, grand in-8 et atlas. L'ouvrage sera complet en 2 tomes et formera 2 beaux volumes grand in-8 et 2 atlas de tableaux et de planches admirablement gravées. — Paris, libr. Dunod.

BLANCHE (ARMAND). Contentieux des chemins de fer ou exposé de la jurisprudence judiciaire et administrative en matière de chemins de fer, suivi d'un appendice indiquant les dernières décisions contentieuses survenues jusqu'au 1er octobre 1861. 1 beau vol. in-8. — Paris, libr. Paul Dupont.

ROUSSET (ALPHONSE). Dictionnaire de la voirie des villes, bourgs et villages. Traité de la grande voirie, de la voirie urbaine, de la voirie vicinale, de la voirie de Paris, de l'expropriation pour cause d'utilité publique, des chemins de fer, des cours d'eau et de la police du roulage. 1 fort vol. in-18 jésus. — Paris, libr. Paul Dupont.

MOIGNO (l'abbé). Leçons de calcul différentiel et de calcul intégral, rédigées d'après les méthodes et les ouvrages publiés ou inédits de A. L. Cauchy. Tome IV, premier fascicule : Calcul des variations. In-8, 1861. — Paris, libr. Mallet-Bachelier.

VIGNOTTI (A.). De l'analyse des produits de la combustion de la poudre, considérée comme moyen de comparer entre elles les propriétés des diverses poudres. In-8, avec une planche. 1861. — Paris, libr. Mallet-Bachelier.

PICTET. Matériaux pour servir à la paléontologie suisse. Première série complète.

GERVAIS. Atlas de Zoologie. 257 fig. coloriées.

AGASSIZ. Description des échinodermes fossiles de la Suisse.

BOUCHER DE PERTHES. Antiquités celtiques et antédiluviennes.

— De l'homme antédiluvien.

— De la création ; essai sur l'origine et la propagation des êtres. 5 vol. in-12. — Paris, libr. E. Jung-Treuttel.

GARNIER (F. A.). Atlas sphéroïdal et universel de géographie, dressé à l'aide des documents officiels publiés récemment en France et à l'étranger. 1 vol. in-fol (format demi-colombier), composé de 60 pl. gravées sur acier, coloriées avec une parfaite exactitude et accompagné d'un texte descriptif. — Paris, libr. ve J. Renouard.

GIRARDIN (J.). Leçons de chimie élémentaire appliquée aux arts industriels. *4e édition*, entièrement refondue. T. Ier, chimie inorganique. 1 vol. in-8 de 880 p., avec 343 fig. dans le texte. T. II, chimie organique, 1 vol. in-8 de 910 p., avec 647 fig. et 136 échantillons en papier, étoffe de soie, étoffes de laine et étoffes de coton dans le texte. — Paris, libr. Victor Masson et fils.

Leçons sur les familles des plantes, faites à la Faculté des sciences de Paris, par J. B. Payer. 6e et 7e livraisons. — Paris, libr. Victor Masson et fils.

LEIBNITZ. Œuvres de Leibnitz, publiées pour la première fois d'après les manuscrits originaux, avec notes et introductions, par A. Foucher de Careil. Tome III. Histoire et politique. In-8, 437 p. — Paris, 1861.

Mémoires de l'Académie impériale des sciences de Saint-Pétersbourg. 7e série. T. III, nos 9-12 et T. IV, no 1. In-4°. — Saint-Pétersbourg, 1860; Leipzig, Voss.

BOUCHEPORN (Fél. de). Études sur l'histoire de la terre et sur les causes des révolutions de sa surface. 2e *édition* (posthume), contenant de nombreuses corrections faites par l'auteur à l'édition première. In-8, 462 p. — Paris, 1861.

Commentaire et discussion du système planétaire de l'astronome J. Perny Villeneuve, par un ancien officier de l'état-major. In-8, IV-47 p. — Wien, 1861, Gerold.

EBELMEN. Recueil des travaux scientifiques de M. Ebelmen, revu et corrigé par M. Salvétat; suivi d'une notice sur M. Ebelmen et sur ses travaux, par M. E. Chevreul. T. III. In-8, XII-282 p. — Paris.

LORIOL (P. de). Description des animaux invertébrés fossiles contenus dans l'étage néocomien moyen du mont Salève. 1re livraison. In-4°, 112 p. — Basel, 1861; Georg's Vlg.

PÉCLET (E.). Traité de la chaleur considérée dans ses applications. 3e *édition*, entièrement refondue et accompagnée de 674 fig. dans le texte. Tome III. In-8, 488 p. — Paris, 1861.

STRUVE (F. G. W.). Arc du méridien de 20° 20′ entre le Danube et la mer Glaciale, mesuré depuis 1816 jusqu'en 1855, sous la direction de C. de Tenner, N. H. Selander, Chr. Hansteen et F. G. W. Struve. Ouvrage composé sur les différents matériaux. 2 vol. in-4° CLX-817 p. — Saint-Pétersbourg, 1857-60.

FERRY (H. de). Mémoire sur le groupe oolitique inférieur des environs de Mâcon (Saône-et-Loire). 1re partie : Jura mâconnais, étage bajocien. In-4°, 48 p. — Caen, 1861.

Journal de botanique néerlandaise, rédigé par F. A. W. Miquel. Année 1861. Avec des planches. 1er cahier. In-8, 336 p. — Paris, 1861.

QUATREFAGES (A. de). Unité de l'espèce humaine. In-8, XVI-434 p. — Paris, 1861.

WINKLER (T. C.). Description de quelques nouvelles espèces de poissons fossiles des calcaires d'eau douce d'Œningen.

MICHELOTTI. Études sur le miocène inférieur de l'Italie méridionale.

La Connaissance générale du cheval, étude de zootechnie pratique, avec un atlas de 160 p. et 103 figures, par les auteurs de l'Encyclopédie pratique de l'agriculteur, publiée par Firmin Didot frères, fils et Ce, sous la direction de L. Moll et Eug. Gayot. In-8, 726 p. — Paris, 1861.

HEUZÉ (Gst). Les assolements et les systèmes de culture. Ouvrage orné d'un grand nombre de vignettes sur bois. In-8, VIII-534 p. — Paris, 1861.

ORTOLAN (A.). Code de l'acheteur, du vendeur et du conducteur de machines à vapeur. In-8, VI-274 p. — Paris, 1861.

EICHWALD (Ed. d'). *Lethaea rossica* ou paléontologie de la Russie, décrite et figurée. 8e livr. Tome I. (Ancienne période, 2e partie.) In-8, XIX, p. 1533-1657. — Stuttgart, 1891; Schweizerbart.

KELLER (F. A. E.). Des ouragans, tornados, typhons et tempêtes. Typhons de 1848, typhon de 1849. In-8, 95 p. — Paris, 1861.

Description des machines et procédés pour lesquels des brevets d'invention ont été pris sous le régime de la loi du 5 juillet 1844 : publiée par les ordres du ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics. T. XXXVIII. In-8, 427 p. — Paris, 1861.

MATHIEU DE DOMBASLE (C. J. A.). Traité d'agriculture, publié sur le manuscrit de l'auteur par C. de Meixmoron de Dombasle. 1re partie. Économie générale. In-8, XXX-379 p. — Paris, 1861.

OUVRAGES ALLEMANDS.

Abhandlungen der Königl... Mémoires de la Société royale de Saxe pour les sciences. In-4°. — Leipzig, 1861.

Sitzungsberichte... Comptes rendus des séances de l'Académie impériale des sciences. Classe des sciences mathématiques et naturelles. Vol. XLIII. — Vienne, 1861.

Dove (H. W.). *Das Gesetz der Stürme...* La loi des tempêtes dans ses rapports avec les mouvements généraux de l'atmosphère. In-8. — Berlin, 1861.

Kesselmeyer (P. A.). *Ueber den Ursprung...* Sur l'origine des pierres météoriques, suivi d'une notice sur les publications qui les concernent, par O. Buchener. — Francfort, 1860.

Valentin (G.). *Die Untersuchung...* Études des substances végétales et animales par la lumière polarisée. In-8, VII-312 p. — Leipzig, 1861.

Zerrenner (C.). *Die Braunstein-oder...* Les exploitations de manganèse en Allemagne, en France et en Espagne. Recherche monographique destinée aux géologues, aux mineurs et aux propriétaires de verreries. In-8. — Freiberg, 1861.

Handwörterbuch der... Manuel de chimie pure et appliquée, d'après Just. v. Liebig, J. C. Poggendorff et Fr. Wöhler, en collaboration avec plusieurs savants, et rédigée par H. V. Fehling et H. Kolbe In-8. — Brunswick. 1861.

Kluge (K. Emile). *Ueber die Ursachen...* Recherches sur les causes des tremblements de terre survenus de 1850 à 1857, et sur leurs rapports avec les volcans et avec l'atmosphère. In-8. — Stuttgart, 1861.

Becker (M.). *Handbuch der...* Manuel de la science de l'ingénieur. — Stuttgard, 1861.

Heider (Ed. J.). *Der Bau der vereinigten...* Construction des docks dans le nouvel arsenal du Lloyd autrichien à Trieste. Documents sur l'emploi de la pouzzolane de Santorin dans les constructions hydrauliques. In-8. — Trieste, 1861.

Schmidt (Gst.). *Theorie...* Théorie des machines à vapeur, avec planches dans le texte. In-8. — Freiberg, 1861.

Argelander (F. W. A.). *Astronomische Beobachtungen...* Observations astronomiques à l'observatoire de l'Université de Bonn, avec

la collaboration de E. Schönfeld et A. Krüger. In-4°. — Bonn, 1861.

BRONN (H. G.). *Die Klassen und*... Les classes et les genres du règne animal. 3e livraison. Mollusques. In-8. Leipzig, 1861.

Systematisches... Cabinet de conchyliologie.

GEINITZ (Hoanns Br.). *Dyas oder die*... Dyas ou la formation du Zechstein et du Rothliegende, avec notice par MM. Eisel, Ludwig, Reuss, Richter, etc. In-4°. Leipzig, 1861.

HANKEL (Hm.). *Zur allgemeinen Theorie*... Théorie générale du mouvement des liquides. In-4. — Göttingen, 1861.

HEER (Osw.). *Untersuchungen über*... Recherches sur le climat et sur la végétation des continents tertiaires. In-fol. — Winterthur, 1860.

KEKULÉ (A.). *Lehrbuch der organischen*... Traité de chimie organique ou de chimie des combinaisons du carbone. In-8. — Erlangen, 1861.

REISS (W.). *Die Diabas- und*... Les diabases et les laves de l'île de Palma. In-8. — Wiesbaden, 1861.

RUTIMEYER (L.). *Die fauna der*... La faune des habitations lacustres de la Suisse. Recherches sur l'histoire des mammifères sauvages et domestiques du milieu de l'Europe. In-4°. — Basel, 1861.

STIEHLER (A. W.). *Synopsis der Pflanzenkunde*... Synopsis de plantes antédiluviennes. In-8. — Munich, 1861.

RUTIMEYER (L.), *Die fauna*... Les coquilles du bassin tertiaire de Mayence. In-4°. — Wiesbaden, 1861.

OUVRAGES ANGLAIS.

OWEN (D. Dale). *Second Report*... Second rapport sur une reconnaissance faite dans le milieu et dans les régions méridionales de l'Arkansas pendant le cours des années 1859 et 1860.

DEANE (Jam). *Iconography*... Iconographie du grès de la rivière Connecticut.

BISHOP (J. Leander). *A History of*... Histoire des manufactures de l'Amérique, de 1608 à 1860, montrant l'origine et le progrès des

principaux arts mécaniques et des manufactures depuis la période coloniale jusqu'à l'adoption de la constitution ; avec une notice des découvertes importantes, tarifs et résultats de chacun des recensements décennaux.

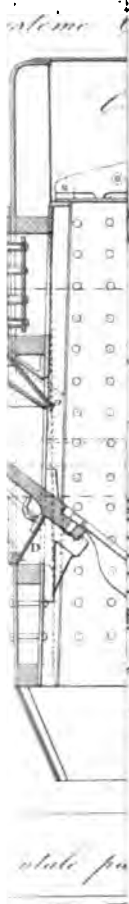
HUMBER (W.). *A complete Treatise...* Traité complet sur les fers employés dans la construction des ponts.

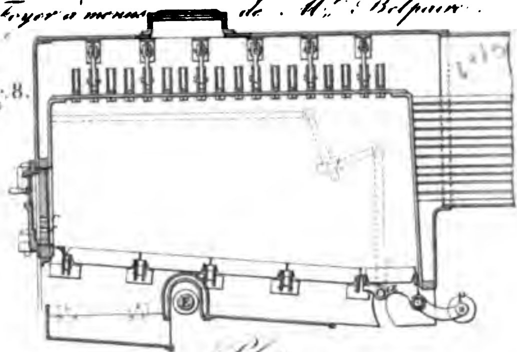
Memoirs of the Geological Survey... Mémoires du Geological Survey de la Grande-Bretagne. Statistique minérale des royaumes unis de la Grande-Bretagne et d'Irlande pour l'année 1861.

OUVRAGES LATINS.

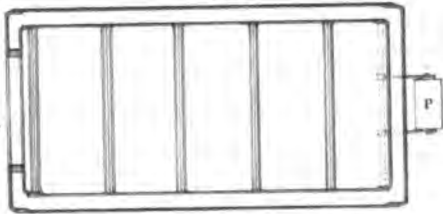
DUNKER (GU.). *Mollusca Japonica...* Description des mollusques du Japon, accompagnée de 3 pl.

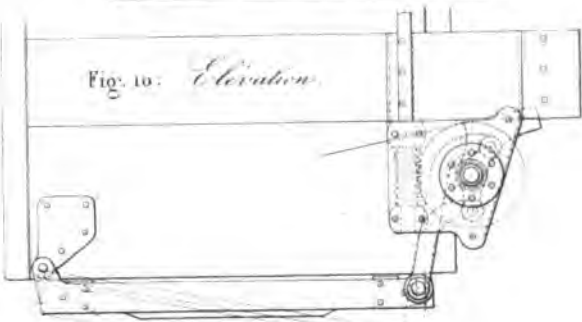
Clark. Foyer à menu… de M.r Belpaire.



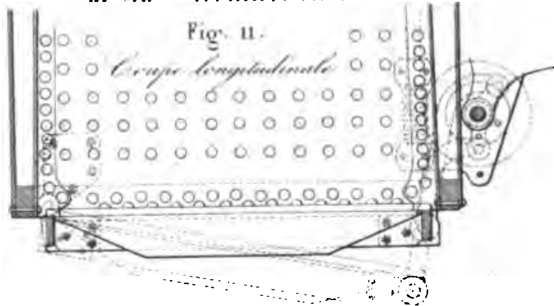


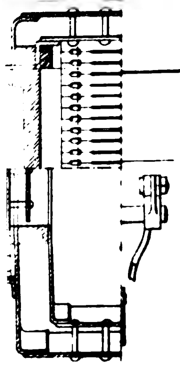
Plan





Disposition essayée sur le chemin de la Méditerranée





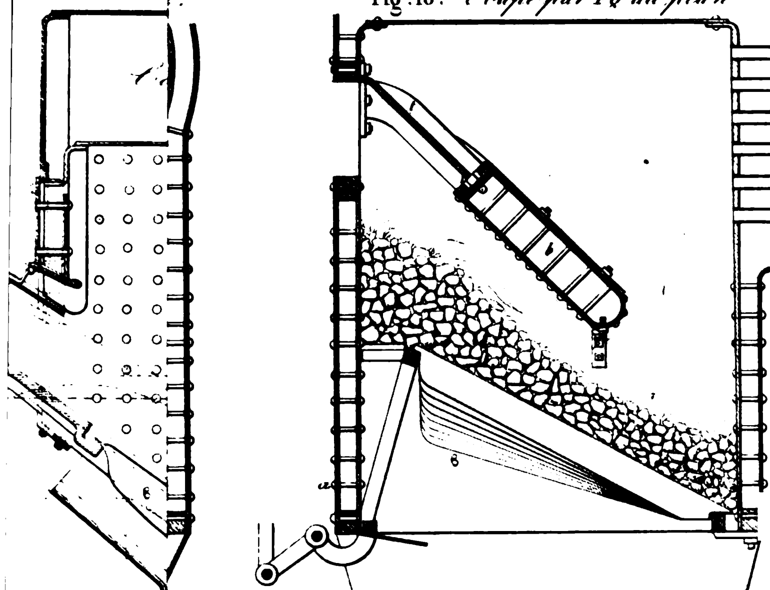
ur les Fig. 1, 2, 3

Lemaître

ne I. page 1.

...ntbrinck. aîné Coni Fontenay.

Fig. 10. Coupe par PQ du plan



et 13. 0, 5 Décimètres

Fig. 12. Coupe horizontale

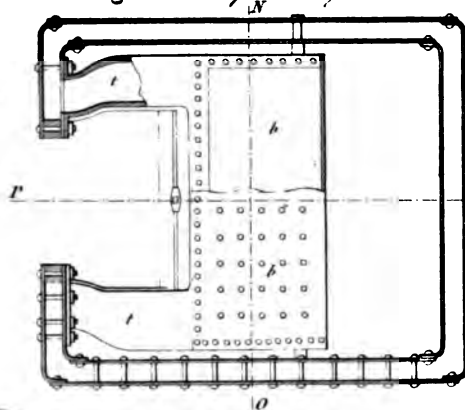


Fig. 13.

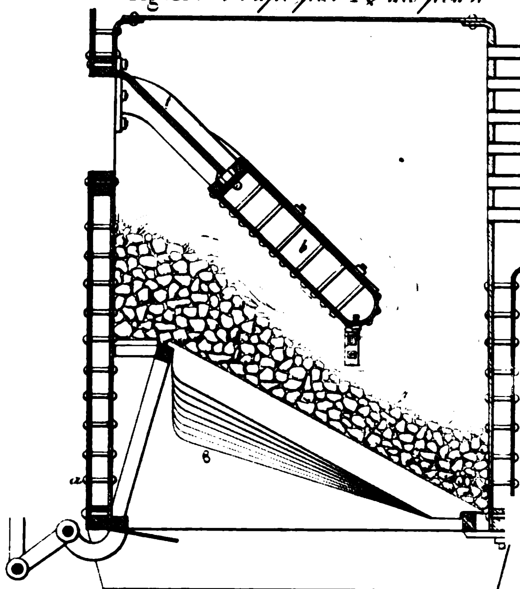
Élévation d'un barreau

6

Coupe

[...]ontbrinck. afême Comi Fontenay.

Fig. 10. Coupe par PQ du plan



10, 11 et 12. 1 Mètre.

et 13. 5 Décimètres

Fig. 12. Coupe horizontale

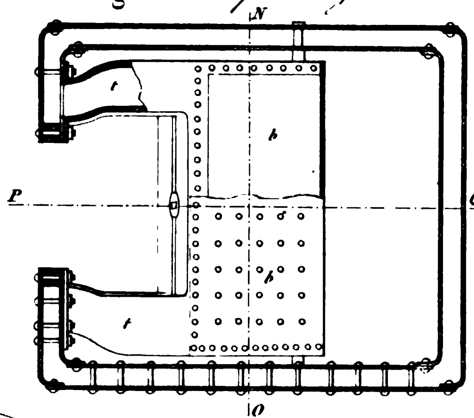
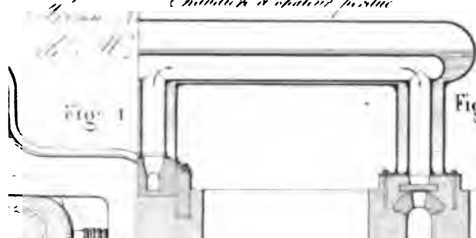


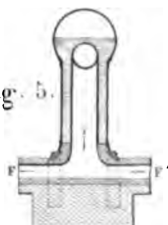
Fig. 13.

Élévation d'un barreau

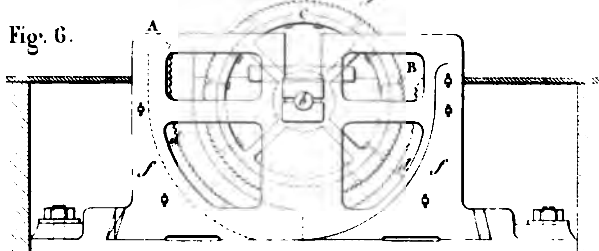
Coupe

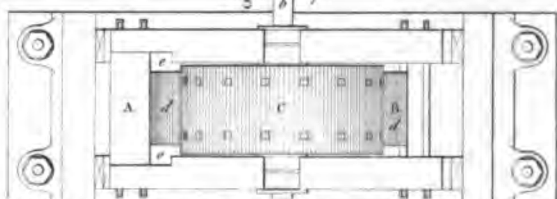
Lemaitre sc.

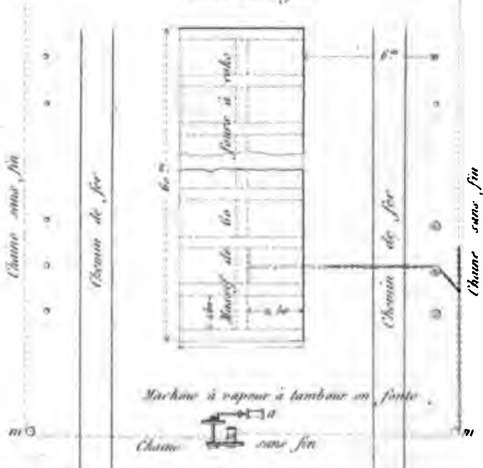




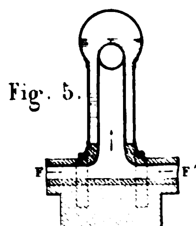
Presse rotative horizontale.

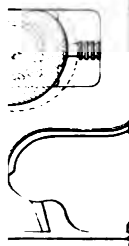




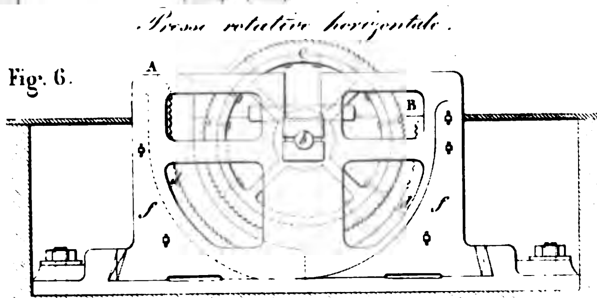


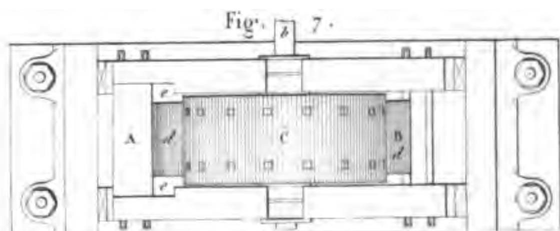


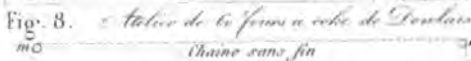


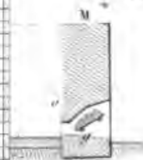


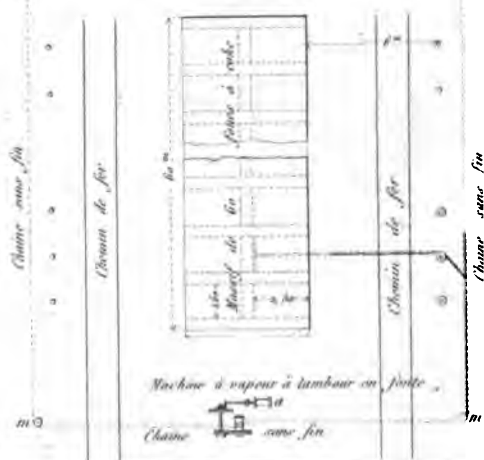
Presse rotative horizontale.









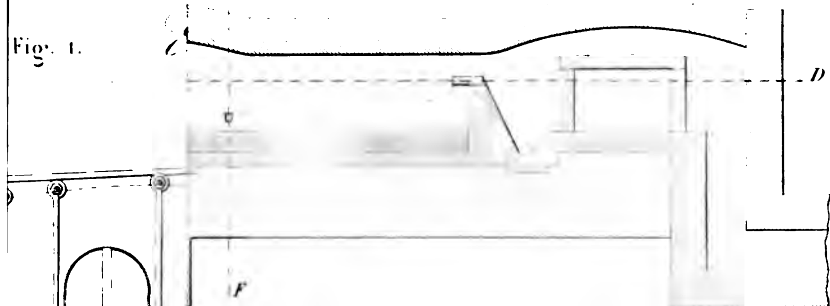


Lemaître

Fig. 1.

...oupe verticale par A.B du plan

Fig. 9



10. Coupe horizontale par C.D.

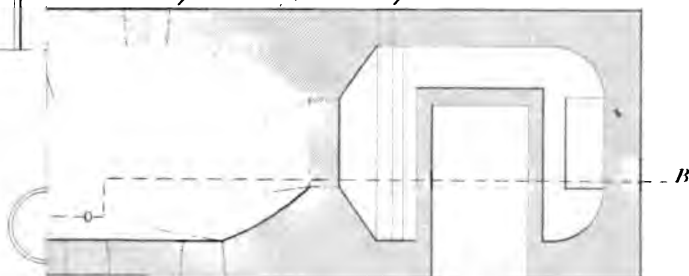


Fig. 3.

Fig

Fig. 4



Fig. 11.

Coupe transversale par E.F.

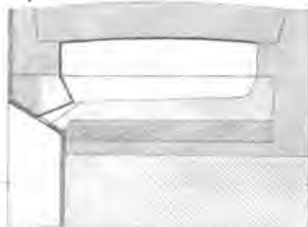


Fig. 12.

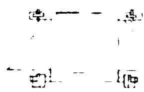
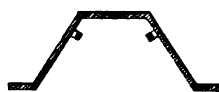


Fig. 13.



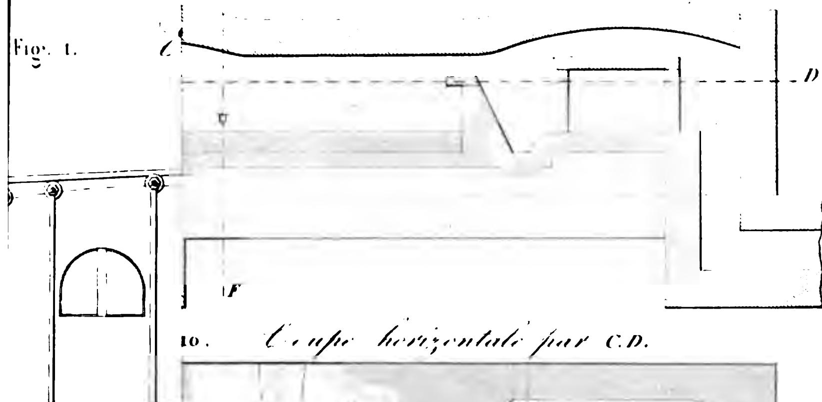
...tres

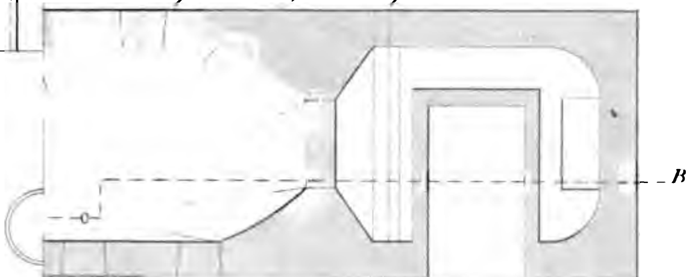
Lemaître sc.

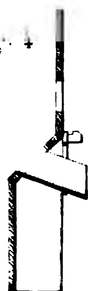
Fig. 1.

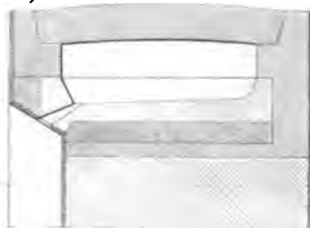
Fig. 5.

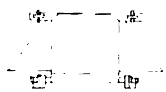
Fig

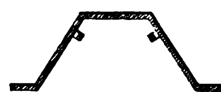





Fig. 4


Fig. 11.
Coupe transversale par E.F.

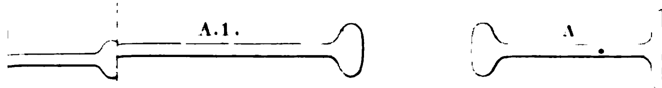

Fig. 12.

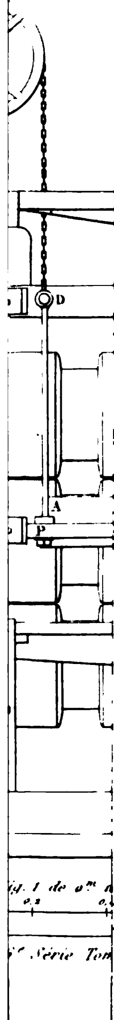

Fig. 13.

...tres

Lemaitre sc.

Fig. 1 bis





...on longit...

Fig. 2.

Relèveur mécanique bilatéral.

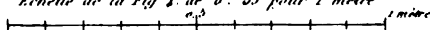
Fig. 5.

R
N
M
M'
O'
C"
O
b
Q
C
S'
K
C'
O'
L'
S
G
F
T
G'
L
m
B
B'
P
P
P'
P'
G
G'
K'
R

...ig. 1 de 0m 0...

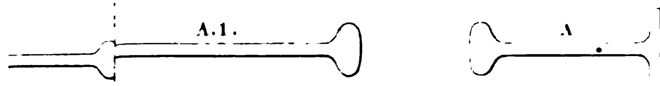
2 mètres

Echelle de la Fig. 5. de 0m 05 pour 1 mètre



Lemaitre sc.

Fig. 1 bis



Releveur mécanique bilatéral.

Fig. 2.

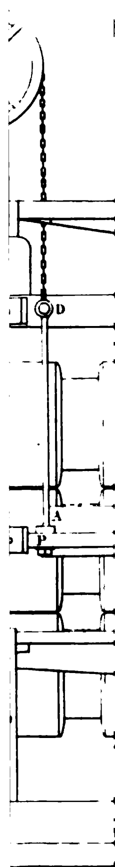
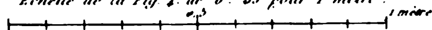


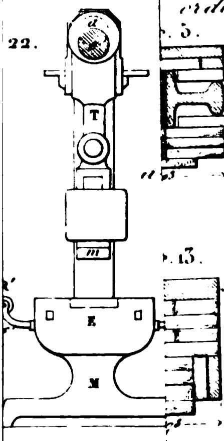
Fig. 3.

Echelle de la Fig. 4. de 0m 03 pour 1 mètre.

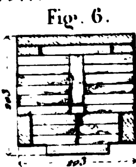


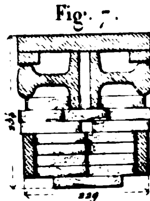
Lemaitre

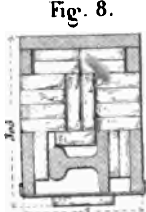
ordinaires.

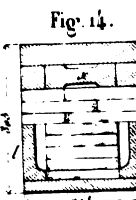


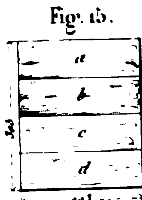












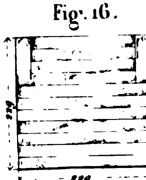
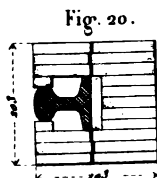
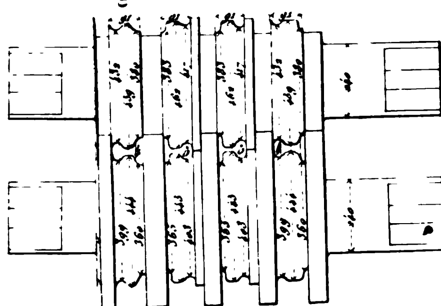
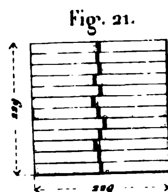


Fig. 16.



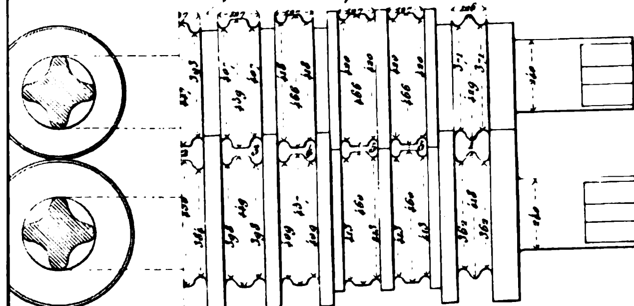
re finisseur.





sont exprimées en milli

Cylindre finisseur.



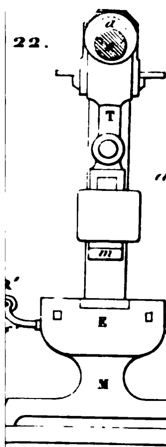
Echelle de 0m

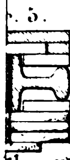
Echelle de 0m.04 pour 1 mètre pour les Fig. 24 à 27.

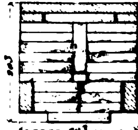
Série. Tome 1er pag

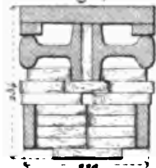
Lemaitre

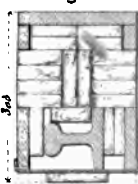
ordinaires.

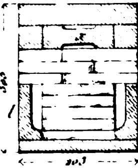


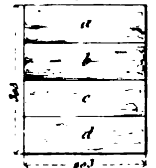


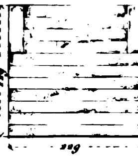




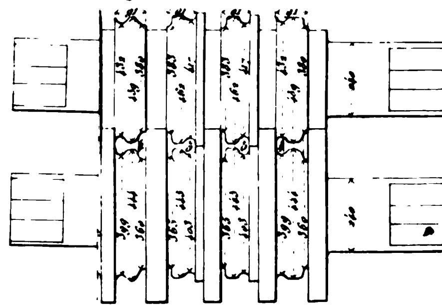


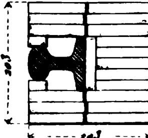


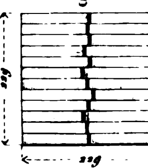




...re finisseur.







...ont exprimées en milli...

Cylindre finisseur.

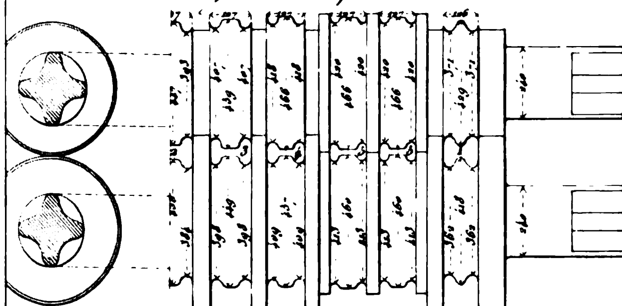
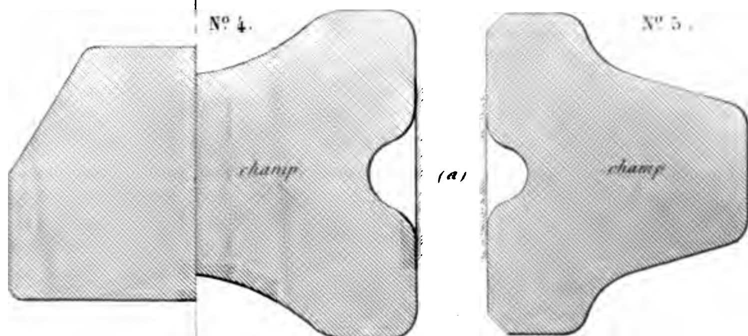


Fig. 27.

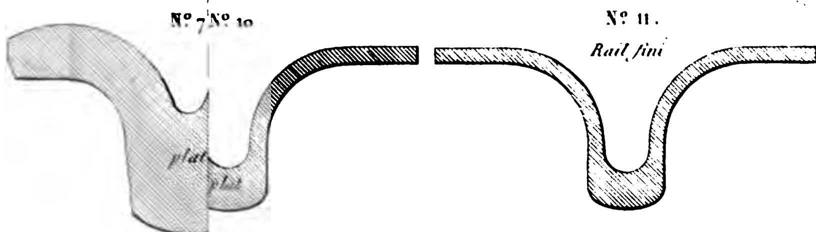
Echelle de 0m...

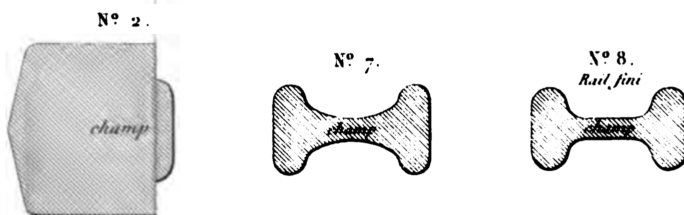
Echelle de 0m.04 pour 1 mètre pour les Fig. 24 à 27.

Lemaître

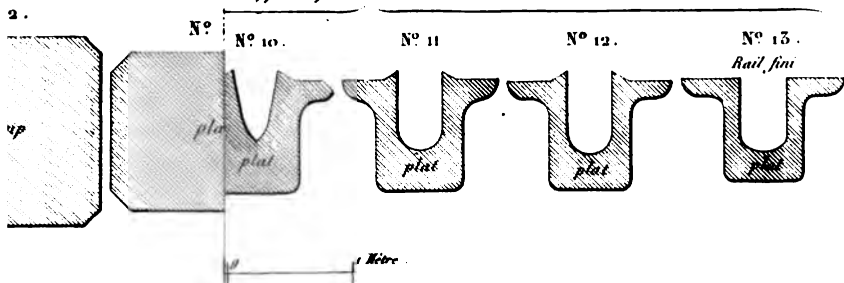


'ota : *Les hachures (a) représentent le bord de la cannelure.*

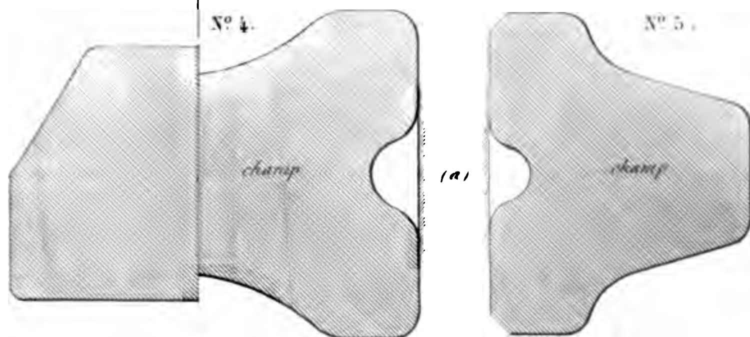




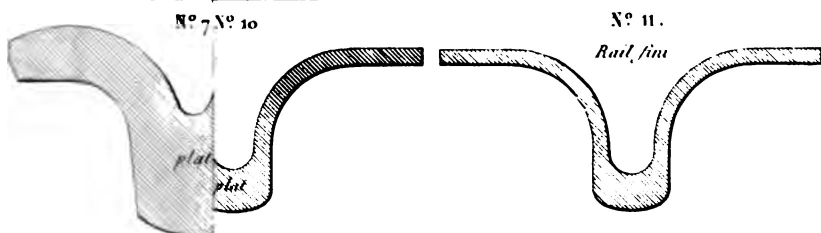
...hauffés pour le finisseur.

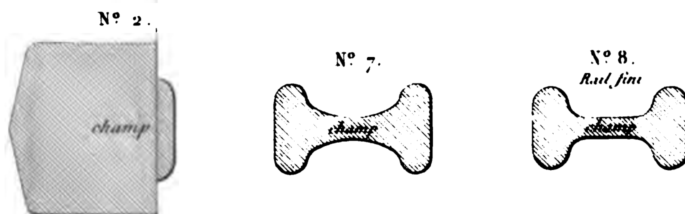


Lemaitre sc

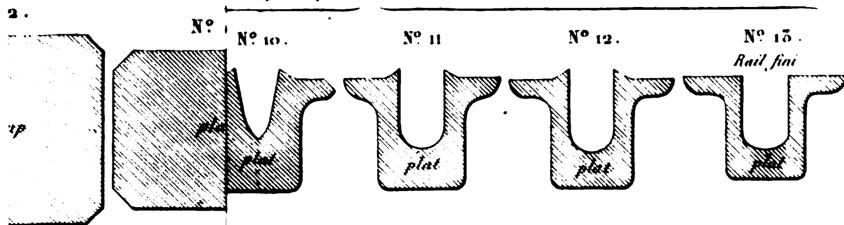


'ota : *Les hachures (a) représentent le bord de la cannelure.*





...hauffés pour le finisseur.



Lemaitre sc.

N° 7.

N° 8.

Rail fini

champ

...isseur.

N° 2.

N° 7.

N° 8.

N° 9.

Rail fini

champ

champ

cha

... de la Fig 1.

... t le bord de

Nota. Toutes les cotes sont exprimées en millimètres.

...inisseur.

N° 7.

N° 8.

N° 9.

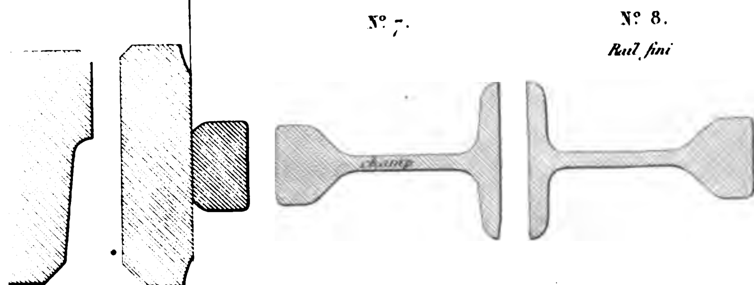
Rail fini

champ

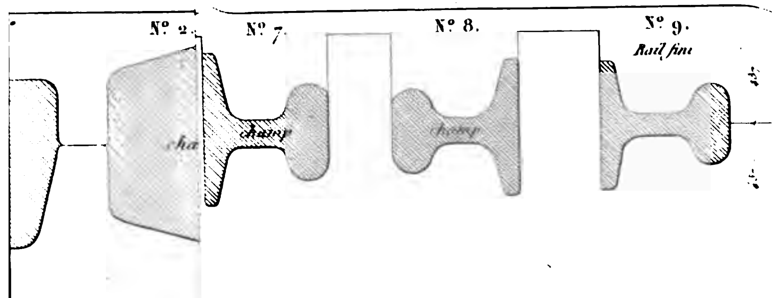
champ

1 mètre

Lemaitre sc.



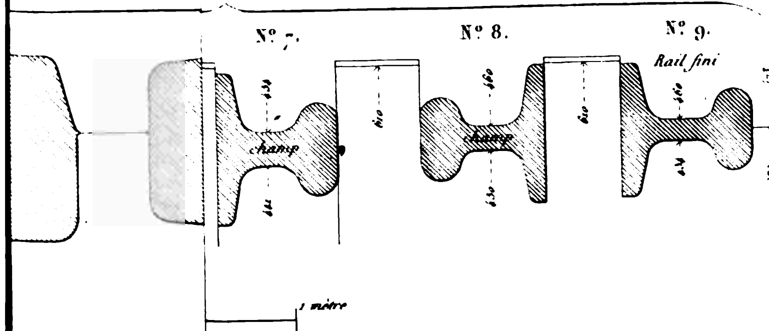
...neur.



. de la Fig 1
t le bord de

Nota. Toutes les cotes sont exprimées en millimètres.

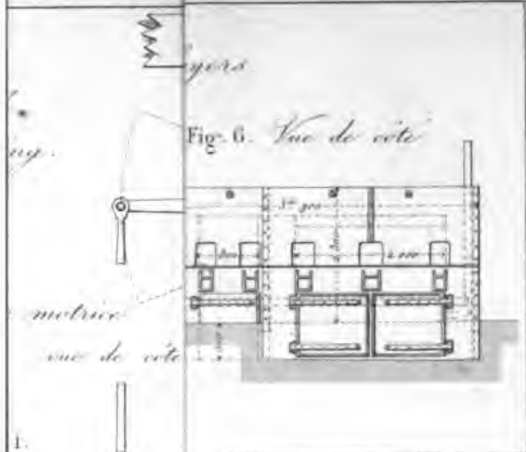
...finisseur.



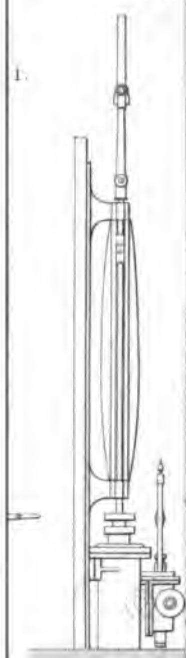
Lemaître







Coupe verticale
par AB



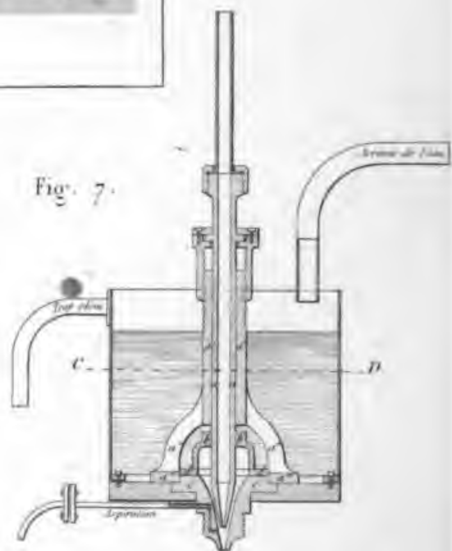
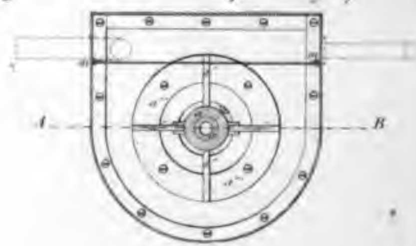
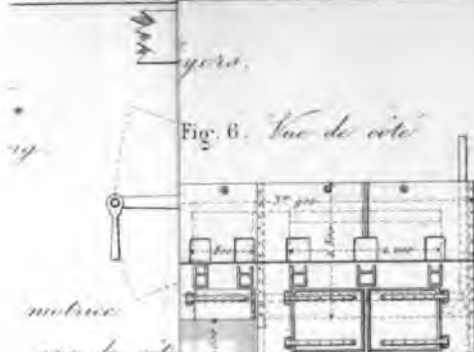
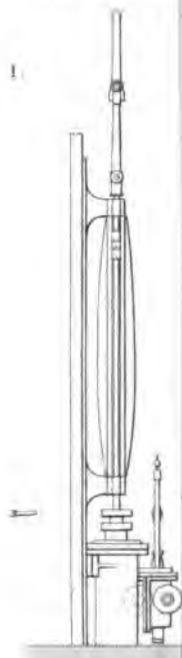


Fig. 8. Plan et Coupe horiz.le par CD









Coupe verticale par A B

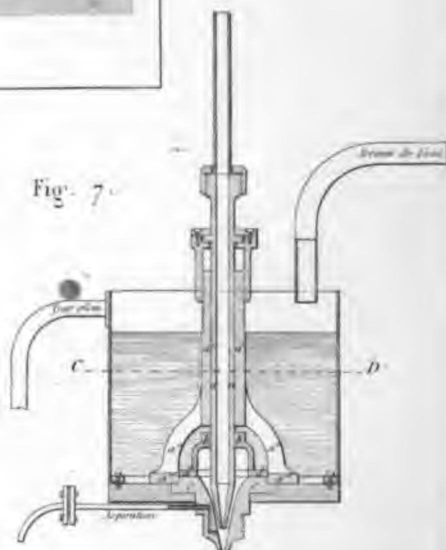
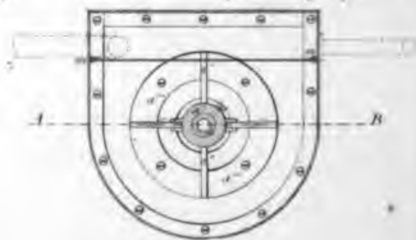


Fig. 8. Plan et Coupe horiz.le par C D





Echelle des Fig. 1 2 et 3



Fig. 3. Salle de l'opération

K L G D A B C E F I

Fig. 4. Condensation des fumées

Snailbeach

Echelle de 1/3450

100 Mètres

Norbury

Fig. 10.

Fig. 12.

Fig. 14.

Fig. 15.

Fig. 16.

Fig. 17.

Lemaître sc.

Pl. X

Fig. 3. Halle de Stiperstones

K

L L

G D L G

C A B

E F E

I I

Fig. 4. Condensation des fumées

Snailbeach

Echelle de 3/100

Norbury

Fig. 10

Fig. 12.

Fig. 14.

Fig. 15.

Fig. 16.

Fig. 17.

-mons

-u Red

-gain

-nlock

-radoc

-lurien andalo

-lcaire

-oches

-eenstot

-lone

-Meurem

-illes

-outes

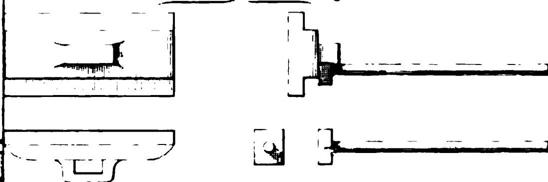
Annales des Mines, 6e série, Tome ... page 446

Lemaître

Coupe long

Four à Plomb de Stiperstones.

Fig. 5. Porte de travail.



Echelle des Fig. 1, 2, 3 et 4 de 0m 005 pour 1' (= 1/60 env.)

4' 8' 12' 16'

Echelle des Fig. 5 et 6 de 0m 02 pour 1' (= 1/15 env.)

1' 2' 3' 4'

Plan.

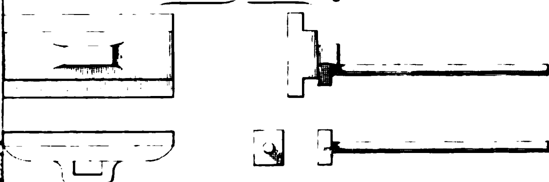
...ion de la face d'avant.

Lemaître sc.

Coupe long

Four à Plomb de Stiperstones.

Fig. 5. Porte de travail.



Echelle des Fig. 1, 2, 3 et 4 de 0m 005 pour 1' (= 1/60 env.)

Echelle des Fig. 5 et 6 de 0m 02 pour 1' (= 1/15 env.)

Plan.

…on de la face d'avant.

Lemaitre sc.

MF PL

Fig. 3. Plan par PQRS. (de la Fig. 1.)

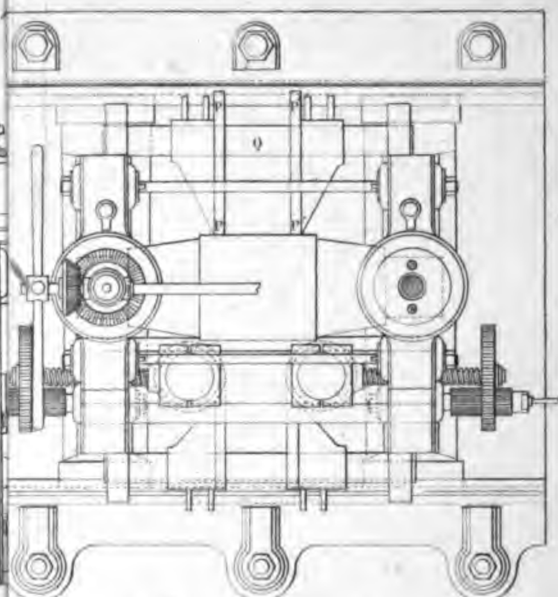
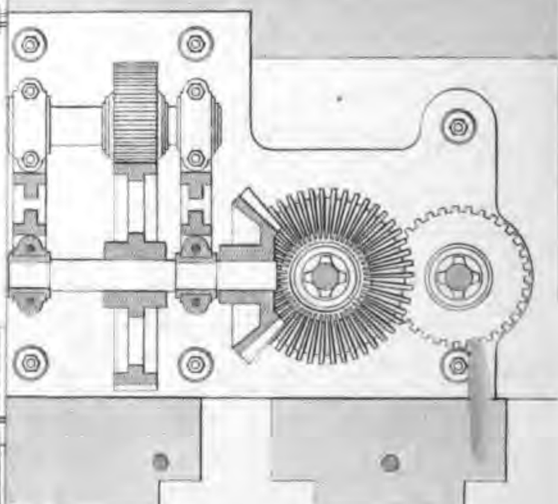


Fig. 4. Coupe horizontale par MN. (de la Fig. 1.)



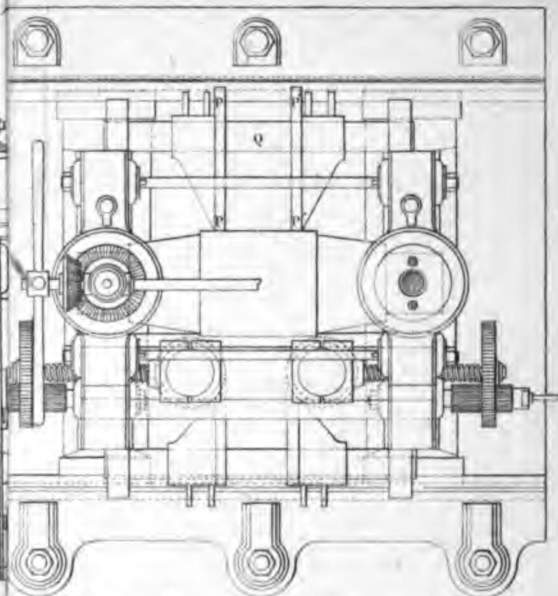
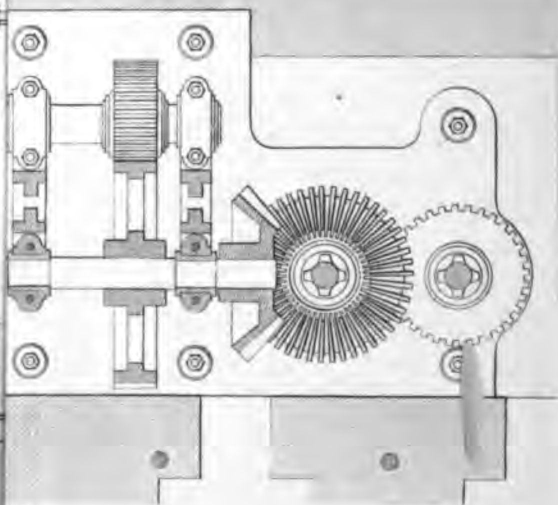
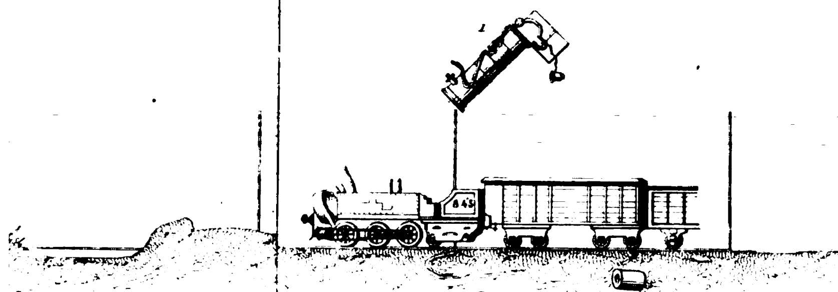


Fig. 3. Plan par VQRS. (de la Fig. 1)

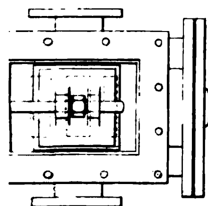
Fig. 4. Coupe horizontale par MN. (de la Fig. 1.)

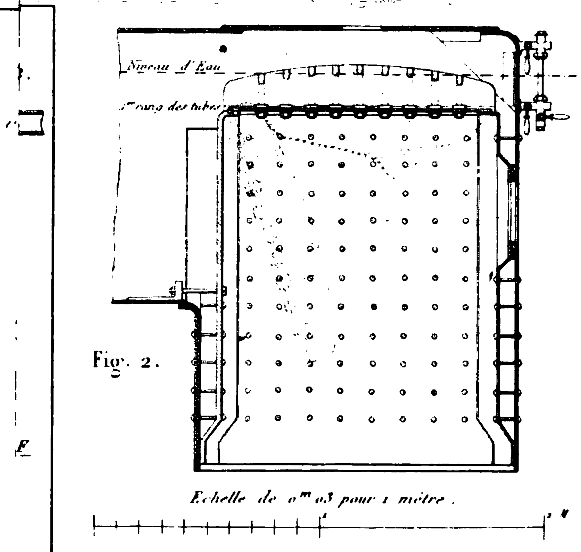


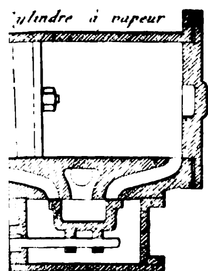
Explosion

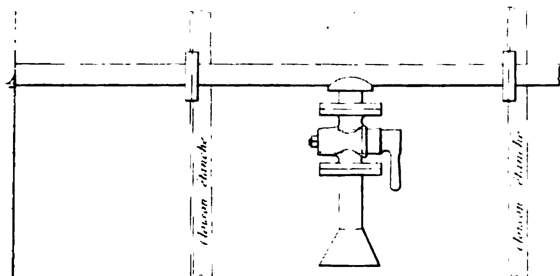


...teur du Rhin.



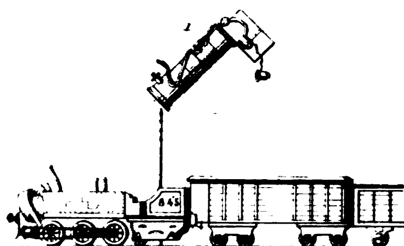






Lemaitre del. et sc.

Explosion



...du Rhin.

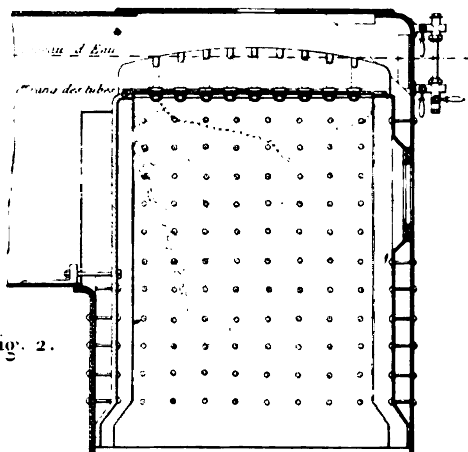
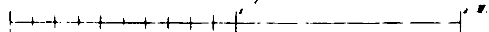
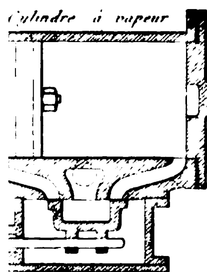


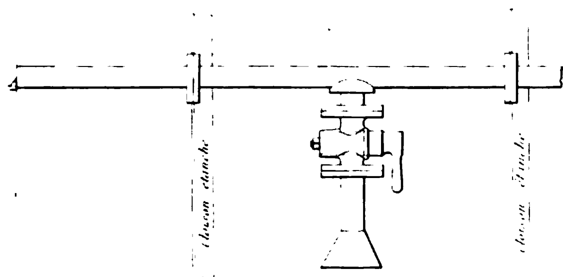
Fig. 2.

Echelle de 0m 03 pour 1 mètre.



Cylindre à vapeur





Lemaître del et.